

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-194512

(43)Date of publication of application : 30.07.1996

(51)Int.Cl.

G05B 19/18

B25J 9/22

G05B 19/19

(21)Application number : 07-007721

(71)Applicant : TOKICO LTD

(22)Date of filing : 20.01.1995

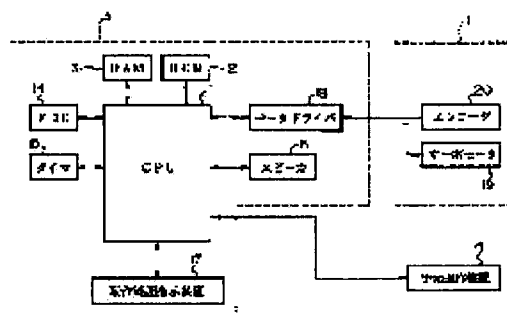
(72)Inventor : AKAMI YUSUKE
MATSUOKA YOSHIKO

(54) ROBOT CONTROLLER

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a robot controller which can indicate the optimum position of a work to an operator with consideration taken into the robot performance.

CONSTITUTION: A CPU 11 controls every part of a controller 3 by means of a RAM 13 and based on the control program stored in a ROM 12. An operating range indicating device 17 moves the tip of a coating gun held by the arm tip of a robot 1 along the outer edge of a coating range. Then the CPU 11 automatically correct the teaching data so that a work is kept in the coating range and also the work is set at a position where the highest working efficiency is secured for the robot 1 while considering the ratios set among the angular velocity, the angular acceleration, the maximum angular velocity and the maximum angular acceleration respectively for each axis of the robot 1 when it moves.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-194512

(43)公開日 平成8年(1996)7月30日

(51)Int.Cl.⁶ 識別記号 庁内整理番号 F I 技術表示箇所

G 0 5 B 19/18

B 2 5 J 9/22

G 0 5 B 19/19

A

M

G 0 5 B 19/ 18

D

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 38 頁)

(21)出願番号 特願平7-7721

(22)出願日 平成7年(1995)1月20日

(71)出願人 000003056

トキコ株式会社

神奈川県川崎市川崎区富士見1丁目6番3号

(72)発明者 赤見 裕介

神奈川県川崎市川崎区富士見1丁目6番3号 トキコ株式会社内

(72)発明者 松岡 佳子

神奈川県川崎市川崎区富士見1丁目6番3号 トキコ株式会社内

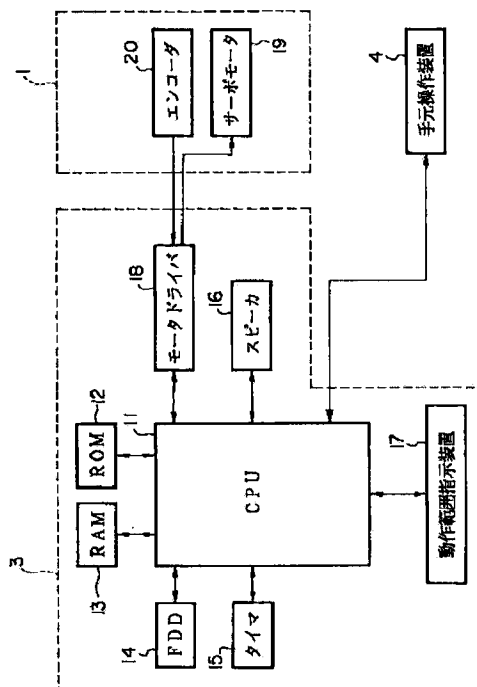
(74)代理人 弁理士 志賀 正武 (外2名)

(54)【発明の名称】 ロボットの制御装置

(57)【要約】

【目的】 ロボットの性能を考慮しながら、オペレータに対してワークの最適な配置位置を指示することができるロボットの制御装置を提供すること。

【構成】 CPU 11は、ROM 12に記憶された制御プログラムに従って、RAM 13を用いて処理を行うことにより、制御装置3の各部を制御する。動作範囲指示装置17は、ロボット1のアームの先端に把持された塗装ガン先端を塗装範囲の外縁に沿って移動させる。CPU 11は、ワークが上記塗装範囲の内側にはいるように教示データを自動的に修正する。また、CPU 11は、ロボット1の各回転軸の移動時の角速度、角加速度と最大角速度、最大角加速度との比を考慮しながら、ロボット1が最も効率よく作業できる位置にワークがくるように教示データを修正する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の回転軸によって動かされるアームの先端に設けられた作業具を用いて所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記複数の回転軸のそれぞれを、前記ロボットの機械的構造によって決定される最大回転範囲に渡って回転させることにより、前記作業具の最大到達領域を求める演算手段と、前記演算手段からの出力により前記最大到達領域の輪郭に沿って前記ロボットを作動させる作動範囲を報知する報知手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載のロボットの制御装置において、前記最大到達領域を記憶する記憶手段と、前記作業具が所定の移動方向へ所定の移動距離だけ移動するように前記ロボットに移動指令を与える指令手段と、前記移動指令の実行による前記作業具の移動前に、前記作業具の移動先となる予定位置が前記最大到達領域内にあるか否かを判断する判断手段と、前記予定位置が前記最大到達領域の外にある場合、前記作業具の現在位置を前記移動方向とは異なる所定の方向へ前記移動距離とは異なる所定の距離だけ移動させてから、前記移動方向を変更させる移動方向変更手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項 3】 ロボットのアームの先端に設けられた作業具を軌道データに従って移動させることで、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記軌道データのうち前記ロボットの座標系における各軸方向の最大値および最小値を示す点を求め、該軌道データを、これらの点を通り各軸に平行な直線で囲まれた形状を表す変換データに変換するデータ変換手段と、前記変換データの各辺に対して、前記作業具の最大到達領域からはみ出している部分の長さの該辺の全長に対する割合である動作領域比率を求める演算手段と、前記変換データの各辺のうち、対応する前記動作領域比率が最も大きい辺である動作領域比率最大辺を選択する選択手段と、前記動作領域比率最大辺が一つの場合には、該動作領域比率最大辺が対向する辺に向かう方向へ前記変換データを平行移動させ、前記動作領域比率最大辺が前記変換データの対向する辺である場合には、前記変換データの中心点を中心として前記変換データを回転させる修正手段と、前記変換データが前記最大到達領域内に完全に収まるまで、前記演算手段には前記変換データの各辺に対して前記動作領域比率を求めさせ、前記選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、前記修正手段には前記動作領域

比率最大辺の個数に従って前記変換データを平行移動または回転させる制御手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項 4】 ロボットアームの先端に設けられた作業具を、前記作業具を移動させることができる領域である最大到達領域内において移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記最大到達領域内に前記作業具の作業の対象となるワークを所定の半径の円弧上を移動させながら供給するターンテーブルと、作業時における前記ワークに対する前記作業具の軌道を示す軌道データについて、前記軌道データのうち前記ロボットの座標系における各軸方向の最大値および最小値を示す点を求め、該軌道データを、これらの点を通り各軸に平行な直線で囲まれた形状を表す変換データに変換するデータ変換手段と、前記変換データの各辺に対して、前記最大到達領域からはみ出している部分の長さの該辺の全長に対する割合である動作領域比率を求める演算手段と、前記変換データの各辺のうち、対応する前記動作領域比率が最も大きい辺である動作領域比率最大辺を選択する選択手段と、前記変換データの全ての辺の前記動作領域比率が等しい場合には、前記変換データを前記円弧の中心点を中心として移動させ、前記動作領域比率最大辺が前記変換データの隣合う二つの辺である場合には、前記変換データを前記円弧の中心点を中心として前記 2 つの動作領域比率最大辺が作る頂点が該頂点の対頂点へ向かう方向へ所定の角度だけ移動させる修正手段と、前記変換データが前記最大到達領域内に完全に収まるまで、前記演算手段には前記変換データの各辺に対して前記動作領域比率を求めさせ、前記選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、前記修正手段には前記動作領域比率最大辺の個数に従って前記変換データを移動または回転させる制御手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項 5】 複数の回転軸で連結されたロボットアームの先端に設けられた作業具を移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記作業具の移動時において、前記複数の回転軸のそれぞれに対して角速度を求める角速度算出手段と、前記複数の回転軸の前記角速度を該回転軸の最大角速度で割った値である角速度比を、前記複数の回転軸のそれぞれについて求める角速度比算出手段と、前記複数の回転軸のそれぞれの前記角速度比のうち、最大の角速度比を選択し、該最大の角速度比を角速度能力値とする角速度能力値選択手段と、前記作業具の最大到達領域内の各座標点に対して、前記角速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する角速度能力値判断手段と、

前記所定の値以上の前記角速度能力値を示す座標点によって構成される領域である角速度能力領域を表示する角速度能力領域表示手段と、

前記角速度能力領域の内部と外部との境界線に沿って前記作業具を移動させる角速度境界移動手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項 6】 複数の回転軸で連結されたロボットアームの先端に設けられた作業具を移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記作業具の移動時において、前記複数の回転軸のそれぞれに対して角加速度を求める角加速度算出手段と、前記複数の回転軸の前記角加速度を該回転軸の最大角加速度で割った値である角加速度比を、前記複数の回転軸のそれぞれについて求める角加速度比算出手段と、前記複数の回転軸のそれぞれの前記角加速度比のうち、最大の角加速度比を選択し、該最大の角加速度比を角加速度能力値とする角加速度能力値選択手段と、前記作業具の最大到達領域内の各座標点に対して、前記角加速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する角加速度能力値判断手段と、前記所定の値以上の前記角加速度能力値を示す座標点によって構成される領域である角速度能力領域を表示する角速度能力領域表示手段と、前記角速度能力領域の内部と外部との境界線に沿って前記作業具を移動させる角速度境界移動手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はティーチングプレイバック（教示再生方式）型のロボットの教示・制御に用いられるロボットの制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】以下、塗装用ロボットシステムを例にとってティーチングプレイバック型のロボットについて説明を行う。ティーチングプレイバック型のロボットは、オペレータによって教示された塗装の手順や動作のタイミング等からなる教示データを再生する事で目的とする動作を行う。教示は、オンライン教示装置を用いて実際にロボットを動作させながら教示を行うオンライン教示と、ロボットを動作させることなく、専用のディスプレイと入力装置とからなるオフライン教示装置を用いて教示を行うオフライン教示とに大別できる。

【0003】図 50 は従来のロボットの制御装置を用いた塗装用ロボットシステムの構成例を示す斜視図である。ロボット 1 は、アーム 1 a、1 b と 4 つの回転軸 1 c 1 ~ 1 c 4 を有する 4 自由度のスカラ型のロボット（平行リンク機構および手首を持つ）であり、固定ベース 1 d を介して、天井または壁に取り付けられている。また、ロボット 1 は、手首の先端に把持された塗装ガン 2 をその動作範囲内（以下、塗装ガン 2 が移動することの

できる動作範囲を塗装範囲と称する）の任意の位置に移動させ、水平面に向かって塗装を行う。

【0004】制御装置 103 は、CPU（中央処理装置）、ROM（リードオンリメモリ）、RAM（ランダムアクセスメモリ）、フロッピディスクドライブ（以下、FDD と称する）等からなり、ケーブル 103 a によってロボット 1 と電氣的に接続されている。制御装置 103 は、ロボット 1 に内蔵されたエンコーダが検出した各回転軸 1 c 1 ~ 1 c 4 の角度から塗装ガン 2 先端の位置およびロボット 1 の姿勢を求め、教示によって与えられた座標位置を塗装ガン 2 先端が通過するように、ロボット 1 の動作を制御する。また、制御装置 103 は、手元操作装置 4 と組み合わせてオンライン教示装置としても使用される。

【0005】手元操作装置 4 は、入力用キーと非常停止ボタンと出力用液晶表示装置等を有する入出力装置である。オペレータは、手元操作装置 4 を操作して、ロボット 1 に対する動作の指示、教示データの再生、各アーム 1 a、1 b の長さやアーム 1 b の先端から塗装ガン 2 先端までの距離等のロボット 1 固有のデータ管理等を行うことができる。オフライン教示装置 104 は、CPU、ROM、RAM の他にディスプレイ、キーボード、FDD 等を有し、ロボット 1 や制御装置 103 との間にケーブル等の信号伝送手段を持たないコンピュータシステムである。オフライン教示装置 104 は、上記 ROM にロボット教示用の専用ソフトウェアを有し、これによってオペレータは、実際にロボット 1 を動かすことなく、動作の教示やシミュレーションを行うことが可能である。

【0006】制御装置 103 および手元操作装置 4 を用いたオンライン教示は、以下に述べる①~④の手順で行われる。

①：オペレータは、塗装作業の対象物（以下、ワークと称する）を塗装範囲内に設置する。また、ワークを配置する手段としてワーク供給装置やコンベアライン等が使用される場合もあり、この場合、上記ワーク供給装置やコンベアラインを設置後、これらの装置によって配置されるワークが塗装範囲内に正しく収まるようにロボットを設置する必要がある。

②：オペレータは、PTP（Point To Point）またはCP（Continuous Pass）等の方法で、塗装ガン 2 先端が移動する軌道（以下、塗装軌道と称する）やロボット 1 の姿勢を教示する。

③：オペレータは、塗装ガン 2 の移動速度、塗料を吐出する位置、塗装色の切り替え、塗装の霧化のパターン、空吹きによるクリーニング等の教示条件を設定する。

④：オペレータは、上記ワーク供給装置が出力するワーク設置完了信号、あるいはコンベアラインが出力する追従信号に対してロボット 1 が行うロボット 1 の動作を教示する。

【0007】オフライン教示は、上記オンライン教示と

同様の教示手順を、実際にロボット1を動作させることなく、オフライン教示装置104を用いて行う教示方法である。作成された教示データは、オフライン教示装置104内蔵のFDDでフロッピディスクに保存され、制御装置103内蔵のFDDで制御装置103へ読み込まれる。オフライン教示の場合、オペレータは、実際にロボット1を動作させることなく教示が可能であるので、教示作業のためにロボット1や工場のライン等の塗装作業を停止させることなく教示を行うことができる。また、オフライン教示では、オペレータは、教示データを基にロボット1の動作のシミュレーションを行うことにより、教示時に塗装品質の予測、確認が可能である。

【0008】オンライン教示またはオフライン教示によって教示データが作成されると、オペレータは、制御装置103の動作モードを再生モードにセットし、教示データを再生させ、ロボット1に実際に塗装作業を行わせてみる。このとき、オペレータは、塗装軌道、ワークに対する塗料の付着量や塗りむら等の塗装品質などを確認し、塗装軌道や塗装品質に問題がなければ、教示作業を終了する。しかし、1度目の教示で、オペレータが意図した通りの塗装軌道や塗装品質が得られることは希であり、塗装軌道や塗装品質等に問題がある場合には、オペレータは、ロボット1の動作終了後、制御装置103の動作モードを再び教示モードにセットし、教示点の教示および塗装条件の設定をやり直す。

【0009】特に、オフライン教示の場合、オフライン教示装置104の画面上におけるチェックであり、3次元の動作を厳密に確認することができない。そのため、オペレータは、その教示データを用いてロボットに再生動作を行わせながら、現物合わせで少しづつ修正を繰り返し、各ロボットシステムに適切な教示データを生成する。あるロボットシステムに対して教示された教示データを、別のロボットシステムに転送し利用する場合も同様の作業が必要となる。このように通常は「教示→塗装軌道および塗装品質を確認するために再生→教示データを修正するために再教示」といった手順を何度も繰り返さなければ、満足のいく塗装品質が得られない場合が多い。

【0010】また、教示データの再生によって得られる塗装軌道が塗装範囲を越える場合には、その越える量が僅かな場合であっても、制御装置103は教示データを再生不能と判断し、即座にロボット1の動作を停止する。その後、オペレータは、塗装軌道が塗装範囲内にはいるように、リモート操作で教示データの修正を行う。さらに、ロボット1の動作速度が不十分のために塗装軌道が大幅に崩れた場合、制御装置103はロボット1の動作を停止する。また、目標または指令する速度に対して、実際の動作速度が遅い場合、制御装置103は、そのままロボット1を動作させるか、あるいは、ロボット1の性能に合わせて速度を変更する。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した従来のロボットの制御装置を用いて教示を行うときには、以下に述べるような欠点があった。

①上記のワーク供給装置を用いず、人手でワークを配置する場合、オペレータは、ロボットの動作の基準となる原点からワークまでの距離を実測したり、目測で大体の見当をつけながら、塗装範囲内にきちんと収まるようにワークを設置しなくてはならなかった。そのため、塗装範囲が狭い場合やワークが大きい場合には、ワークが塗装範囲内に完全に収まっていなかったり、オーバースプレー時の塗装軌道が塗装範囲からはみ出してしまうことが頻繁に起こり、その度にワークの設置および教示作業をやり直していたので、教示作業に多大な時間と高い教示技術を要していた。

【0012】②リモート教示において、オペレータが実際にロボットを操作しながら教示データの修正を行う場合、教示および再生の繰り返しが多くなると、オペレータは動作中のロボットの近くで長時間の教示作業を行うことになる。そのため、オペレータは、気のゆるみや疲労等から操作ミスを起こしやすくなり、教示データの誤消去や操作ミス等を引き起こす恐れがあった。

③教示時に指定した速度に対して、ロボットが実際に出せる動作速度、つまり該ロボットの性能が低い場合、そのままロボットを動作させると、教示データに対して塗装軌道の精度が低下し、そのため塗装品質が著しく低下した。また、再生時にロボットの性能に合わせて動作速度を自動的に変更すると、塗装面上での塗料の分量が変化し、塗りむらが生じるという欠点があった。

【0013】④教示および再生の繰り返し回数が多くなると、再生時の塗装試験に使用される塗料やサンプルワークの量も多くなり、塗装試験の費用が大きくなるという欠点があった。

この発明は、このような背景の下になされたもので、ロボットの性能を考慮しながら、オペレータに対してワークの最適な配置位置を指示することができるロボットの制御装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、複数の回転軸によって動かされるアームの先端に設けられた作業具を用いて所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記複数の回転軸のそれぞれを、前記ロボットの機械的構造によって決定される最大回転範囲に渡って回転させることにより、前記作業具の最大到達領域を求める演算手段と、前記演算手段からの出力により前記最大到達領域の輪郭に沿って前記ロボットを作動させる作動範囲を報知する報知手段とを具備することを特徴としている。

【0015】請求項2記載の発明は、請求項1記載のロボットの制御装置において、前記最大到達領域を記憶す

る記憶手段と、前記作業具が所定の移動方向へ所定の移動距離だけ移動するように前記ロボットに移動指令を与える指令手段と、前記移動指令の実行による前記作業具の移動前に、前記作業具の移動先となる予定位置が前記最大到達領域内にあるか否かを判断する判断手段と、前記予定位置が前記最大到達領域の外にある場合、前記作業具の現在位置を前記移動方向とは異なる所定方向へ前記移動距離とは異なる所定の距離だけ移動させてから、前記移動方向を変更させる移動方向変更手段とを具備することを特徴としている。

【0016】請求項3記載の発明は、ロボットのアームの先端に設けられた作業具を軌道データに従って移動させることで、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記軌道データのうち前記ロボットの座標系における各軸方向の最大値および最小値を示す点を求め、該軌道データを、これらの点を通り各軸に平行な直線で囲まれた形状を表す変換データに変換するデータ変換手段と、前記変換データの各辺に対して、前記作業具の最大到達領域からはみ出している部分の長さの該辺の全長に対する割合である動作領域比率を求め、前記変換データの各辺のうち、対応する前記動作領域比率が最も大きい辺である動作領域比率最大辺を選択する選択手段と、前記動作領域比率最大辺が一つの場合には、該動作領域比率最大辺が対向する辺に向かう方向へ前記変換データを平行移動させ、前記動作領域比率最大辺が前記変換データの対向する辺である場合には、前記変換データの中心点を中心として前記変換データを回転させる修正手段と、前記変換データが前記最大到達領域内に完全に収まるまで、前記演算手段には前記変換データの各辺に対して前記動作領域比率を求めさせ、前記選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、前記修正手段には前記動作領域比率最大辺の個数に従って前記変換データを平行移動または回転させる制御手段とを具備することを特徴としている。

【0017】請求項4記載の発明は、ロボットアームの先端に設けられた作業具を、前記作業具を移動させることができる領域である最大到達領域内において移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記最大到達領域内に前記作業具の作業の対象となるワークを所定の半径の円弧上を移動させながら供給するターンテーブルと、作業時における前記ワークに対する前記作業具の軌道を示す軌道データについて、前記軌道データのうち前記ロボットの座標系における各軸方向の最大値および最小値を示す点を求め、該軌道データを、これらの点を通り各軸に平行な直線で囲まれた形状を表す変換データに変換するデータ変換手段と、前記変換データの各辺に対して、前記最大到達領域からはみ出している部分の長さの該辺の全長に対する割合である動作領域比率を求め、前記変換データの各辺のうち、対応する前記動作領域比率が最も大

きい辺である動作領域比率最大辺を選択する選択手段と、前記変換データの全ての辺の前記動作領域比率が等しい場合には、前記変換データを前記円弧の中心点を中心として移動させ、前記動作領域比率最大辺が前記変換データの隣合う二つの辺である場合には、前記変換データを前記円弧の中心点を中心として前記2つの動作領域比率最大辺が作る頂点が該頂点の対頂点へ向かう方向へ所定の角度だけ移動させる修正手段と、前記変換データが前記最大到達領域内に完全に収まるまで、前記演算手段には前記変換データの各辺に対して前記動作領域比率を求めさせ、前記選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、前記修正手段には前記動作領域比率最大辺の個数に従って前記変換データを移動または回転させる制御手段とを具備することを特徴としている。

【0018】請求項5記載の発明は、複数の回転軸で連結されたロボットアームの先端に設けられた作業具を移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記作業具の移動時において、前記複数の回転軸のそれぞれに対して角速度を求める角速度算出手段と、前記複数の回転軸の前記角速度を該回転軸の最大角速度で割った値である角速度比を、前記複数の回転軸のそれぞれについて求める角速度比算出手段と、前記複数の回転軸のそれぞれの前記角速度比のうち、最大の角速度比を選択し、該最大の角速度比を角速度能力値とする角速度能力値選択手段と、前記作業具の最大到達領域内の各座標点に対して、前記角速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する角速度能力値判断手段と、前記所定の値以上の前記角速度能力値を示す座標点によって構成される領域である角速度能力領域を表示する角速度能力領域表示手段と、前記角速度能力領域の内部と外部との境界線に沿って前記作業具を移動させる角速度境界移動手段とを具備することを特徴としている。

【0019】請求項6記載の発明は、複数の回転軸で連結されたロボットアームの先端に設けられた作業具を移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記作業具の移動時において、前記複数の回転軸のそれぞれに対して角加速度を求める角加速度算出手段と、前記複数の回転軸の前記角加速度を該回転軸の最大角加速度で割った値である角加速度比を、前記複数の回転軸のそれぞれについて求める角加速度比算出手段と、前記複数の回転軸のそれぞれの前記角加速度比のうち、最大の角加速度比を選択し、該最大の角加速度比を角加速度能力値とする角加速度能力値選択手段と、前記作業具の最大到達領域内の各座標点に対して、前記角加速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する角加速度能力値判断手段と、前記所定の値以上の前記角加速度能力値を示す座標点によって構成される領域である角加速度能力領域を表示する角加速度能力領域表示手段と、前記角加速度能力領域の内部と外部と

の境界線に沿って前記作業具を移動させる角加速度境界移動手段とを具備することを特徴としている。

【0020】

【作用】請求項1記載の発明によれば、演算手段は複数の回転軸のそれぞれを、ロボットの機械的構造によって決定される最大回転範囲に渡って回転させることにより、作業具の最大到達領域を求め、報知手段は演算手段からの出力により最大到達領域の輪郭に沿ってロボットを作動させる作動範囲を報知する。

【0021】請求項2記載の発明によれば、指令手段は作業具が所定の移動方向へ所定の移動距離だけ移動するようにロボットに移動指令を与える。判断手段は移動指令の実行による作業具の移動前に、作業具の移動先となる予定位置が最大到達領域内にあるか否かを判断する。移動方向変更手段は予定位置が最大到達領域の外にある場合、作業具の現在位置を移動方向とは異なる所定の方

向へ移動距離とは異なる所定の距離だけ移動させてから、移動方向を変更させる。

【0022】請求項3記載の発明によれば、選択手段は変換データの各辺のうち、対応する動作領域比率が最も大きい辺である動作領域比率最大辺を選択する。修正手段は、動作領域比率最大辺が一つの場合には、該動作領域比率最大辺が対辺へ向かう方向へ変換データを平行移動させ、動作領域比率最大辺が変換データの対向する辺である場合には、変換データの中心点を中心として回転させる。制御手段は、変換データが最大到達領域内に完全に収まるまで、演算手段には変換データの各辺に対して動作領域比率を求めさせ、選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、修正手段には動作領域比率最大辺の個数に従って変換データを平行移動または回転させる。

【0023】請求項4記載の発明によれば、選択手段は、変換データの各辺のうち、対応する動作領域比率が最も大きい辺である動作領域比率最大辺を選択する。修正手段は変換データの全ての辺の動作領域比率が等しい場合には、変換データを円弧の中心点を中心として移動させ、動作領域比率最大辺が変換データの隣合う二つの辺である場合には、変換データを円弧の中心点を中心として2つの動作領域比率最大辺が作る頂点が該頂点の対頂点へ向かう方向へ所定の角度だけ移動させる。制御手段は、変換データが最大到達領域内に完全に収まるまで、演算手段には変換データの各辺に対して動作領域比率を求めさせ、選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、修正手段には動作領域比率最大辺の個数に従って変換データを平行移動または回転させる。

【0024】請求項5記載の発明によれば、角速度算出手段は複数の回転軸のそれぞれに対して角速度を求め、角速度比算出手段は複数の回転軸の角速度を該回転軸の最大角速度で割った値である角速度比を、複数の回転軸のそれぞれについて求める。角速度能力値選択手段は、複数の回転軸のそれぞれの角速度比のうち、最大の角速

度比を選択し、該最大の角速度比を角速度能力値とする。角速度能力値判断手段は、最大到達領域内の各座標点に対して、角速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する。

【0025】請求項6記載の発明によれば、角加速度算出手段は複数の回転軸のそれぞれに対して角加速度を求め、角加速度比算出手段は複数の回転軸の角加速度を該回転軸の最大角加速度で割った値である角加速度比を、複数の回転軸のそれぞれについて求める。角加速度能力値選択手段は、複数の回転軸のそれぞれの角加速度比のうち、最大の角加速度比を選択し、該最大の角加速度比を角加速度能力値とする。角加速度能力値判断手段は、最大到達領域内の各座標点に対して、角加速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する。

【0026】

【実施例】以下、図面を参照して、この発明の実施例について説明する。尚、以下の説明において (d/dx) は x について1回微分することを、 $(d/dx)^2$ は x について2回微分することを示す。例えば、 $(d/dx)y$ は $y=f(x)$ を x について1回微分し、 $(d/dx)^2y$ は $y=f(x)$ を x について2回微分することを示す。

【0027】図1はこの発明の一実施例によるロボットの制御装置の構成および他の要素との関わりを示すブロック図である。CPU（中央処理装置）11は、ROM（リードオンリメモリ）12に記憶された制御プログラムに従って、RAM（ランダムアクセスメモリ）13を用いて処理を行うことにより、制御装置3の各部を制御する。また、CPU11は、タイマ15から所定のサンプリング間隔ごとに入力されるパルス信号を基準として、ROM12からロボット1を制御するための制御プログラムを、RAM13から教示点や塗装条件を読み出し、塗装ガン2先端の移動量および移動速度を計算する。CPU11は、FDD14を用いてRAM13に記憶されている内容をフロッピーディスクに保存することができる。塗装ガン2先端の軌道が大幅にずれたり、ロボット1に異常が発生した場合には、CPU11はスピーカ16から警告音を鳴らす。これによって、オペレータは危険と異常を知ることができる。

【0028】動作範囲指示装置17は、塗装ガン2先端を塗装範囲の外縁に沿って移動させる動作範囲指示処理（図6～図9参照）を行う。また、動作範囲指示装置17は、手元操作装置4からの入力を常に監視しており、オペレータが非常停止キーを押すと、動作範囲指示装置17は上記動作範囲指示処理を中止し、直ちにロボット1を停止させる。

【0029】ロボット1の各回転軸1c1～1c4にはサーボモータ19およびエンコーダ20が内蔵されている。CPU11が計算した塗装ガン2の移動量および移動速度は、モータドライバ18で角速度および回転角度に変換され、サーボモータ19へ送られる。サーボモ

タ19は、図示しない減速機を介して、各回転軸1c1～1c4を上記角速度で上記回転角度だけ回転させ、アーム1aおよび1bを駆動する。エンコーダ20は、上記減速機の減速比が比較的大きい場合であっても、各回転軸1c1～1c4に内蔵されたサーボモータ19の回転角度と角速度の検出できる。CPU11は、エンコーダ20が検出した角速度および回転角度をモータドライバ18を介して取り込み、アーム1a、1bの姿勢や、塗装ガン2先端の座標を計算する。

【0030】図2は制御装置3を用いた塗装用ロボットシステムの構成例を示す斜視図である。この図において、図49の各部に対応する部分には同一の符号を付け、その説明を省略する。この図に示す塗装用ロボットシステムにおいては、制御装置103に代えて制御装置3が新たに設けられている。また、本発明はオンライン教示に使用される制御装置であるので、対応する構成品を持たないオフライン教示装置104（図49参照）の図示は省略する。

【0031】次に、図3を用いて本実施例で使用されるロボット1のロボットベース座標系と数学モデルについて説明する。ロボットベース座標系は、図3に示す点o

$$x = r_1 \cos \theta_1 + r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos (\theta_2 + \theta_3) - r_6 \sin \theta_4 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$y = r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin (\theta_2 + \theta_3) + r_5 \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$z = -r_1 \sin \theta_1 - r_4 - r_6 \cos \theta_4 \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\alpha = \theta_4 \quad \dots \dots \dots (4)$$

のように表される。

【0034】上記の式(1)～(4)より、各回転軸1c1～1c4の角度($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$)と塗装ガン2の先端の座標(x, y, z)および回転角度 α とは1対1に対応し合っていることが分かる。このように上記の式(1)～(4)を用いて、各回転軸1c1～1c4の角度($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$)から塗装ガン2の先端の

を原点とし、互いに直行したx軸、y軸、z軸からなる直交座標系である。回転軸1c1は θ_1 方向に回転し、図3に示す平行リンク1dを介して、アーム1aを上下に動かす。平行リンク1dのr1が床面と平行になったとき（アーム1a、1bはスカラー型なので常に床面と平行）の回転軸1c1の角度を $\theta_1 = 0^\circ$ とする。平行リンク1dの一端に設けられた回転軸1c2は θ_2 方向に回転し、アーム1aを左右に動かす。アーム1aがzx平面上にあるときの回転軸1aの角度を $\theta_2 = 0^\circ$ とする。

【0032】アーム1aの他端に設けられた回転軸1c3は θ_3 方向に回転し、アーム1bを左右に動かす。アーム1bがアーム1aと一直線になったときの回転軸1bの角度を $\theta_3 = 0^\circ$ とする。アーム1bの先端に設けられた回転軸1c4は θ_4 方向に回転し、塗装ガン2先端の向きを変化させる。塗装ガン2先端が鉛直方向に下を向いたときの回転軸1c4の角度を $\theta_4 = 0^\circ$ とする。

【0033】また、各回転軸4間の距離を図3に示す $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$ のように定義すると、塗装ガン2の先端の座標(x, y, z)および回転角度 α は、

座標(x, y, z)および回転角度 α を求めることを運動学変換という。逆に、上記の式(1)～(4)を次式(5)～(16)に示すように変形することによって、塗装ガン2の先端の位置(x, y, z, α)から各回転軸1c1～1c4の角度($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$)を求めることを逆運動学変換という。

【数1】

14

[illegible]

$$\sin \theta_1 = (-z - r_4 - r_6 \sin \theta_4) / r_1 \dots (6)$$

$$\cos \theta_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_1} \dots \dots \dots (7)$$

$$\theta^1 = \tan^{-1} \frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_1} \dots \dots \dots (8)$$

$$x_a = x - r_1 \cos \theta_1 - r_6 \cos \theta_4 \dots \dots \dots (9)$$

$$\mathbf{y}_a = \mathbf{y} + \mathbf{r}_5 \cdot \dots \cdot \dots \quad (10)$$

$$r_a = \sqrt{x_a^2 + y_a^2} \dots \dots \dots (11)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{y_a}{x_a} \dots \dots \dots (12)$$

$$a = \cos^{-1} \frac{r_a^2 + r_2^2 - r_3^2}{2 r_a r_2} \dots \dots \dots (13)$$

$$b = \cos \frac{-r_a^2 + r_2^2 - r_3^2}{2 r_a r_3} \dots \dots \dots (14)$$

$$\theta_2 = \phi + a \cdot \dots \quad (15)$$

$$\theta_3 = b - \pi \cdot \dots \quad (16)$$

【0035】このような構成において、まず初めに、制御装置3が塗装ガン2先端を塗装範囲の外縁に沿って移動させ、図4に示すように、床面にその塗装軌道を描かせる方法について述べる。尚、本実施例による塗装用ロボットシステムの制御系は、図5に示すような比例制御系であるとする。この図において、 θ_{iref} は目標値、 u_{ik} はモータドライバ18への速度指令値、 θ_{if} は位置フィードバック値、 k_{ip} は比例ゲイン、 G_i (V) はサーボモータ19およびロボット1の伝達関数である。ここで、各パラメータは、最初の添字 i が $i = 1$ のときは回転軸1c1について、 $i = 2$ のときは回転軸1c2について、 $i = 3$ のときは回転軸1c3について、 $i = 4$ のときは回転軸1c4についての値を表している。

【0036】以下の説明において、回転軸1c*i* (*i* = 1~4)の最大角度 θ_{imax} および最小角度 θ_{imin} とは、ロボットの仕様によって決定される各回転軸1c1~1c4の回転範囲を示す値である。図4において、点Aは、回転軸1c1の角度を0°に、回転軸1c2の角度を最大角度 $\theta_{2max} = 120^\circ$ に、回転軸1c3の角度を0°に、回転軸1c4の角度を0°にした時の塗装ガン2先端の位置である。軌道①は、塗装ガン2先端が点Aにあるときに、回転軸1c1、1c3および1c4の角度は変えずに、回転軸1c2の角度を最大角度 $\theta_{2max} = 120^\circ$ から最小角度 $\theta_{2min} = -90^\circ$ まで変化させ、塗装ガン2先端を点Aから点Bまで移動させた場合に、塗装ガン2先端によって描かれる軌道である。軌道②は、塗装ガン2先端が点Bにあるときに、回転軸1c3

の角度を 0° から -150° まで変化させ、塗装ガン2
先端を点Bから点Cまで移動させた場合に、塗装ガン2
先端によって描かれる軌道である。

【0037】軌道③は、塗装ガン2先端が点Cにあるときに、回転軸1c2の角度を最小角度 $\theta_{2min} = -90^\circ$ から最大角度 $\theta_{2max} = 120^\circ$ まで変化させ、塗装ガン2先端を点Cから点Dまで移動させた場合に、塗装ガン2先端によって描かれる軌道である。軌道④は、塗装ガン2先端が点Dにあるときに、回転軸1c3の角度を -150° から 0° まで変化させ、塗装ガン2先端を点Dから点Aまで移動させた場合に、塗装ガン2先端によって描かれる軌道である。制御装置3は、これらの軌道を塗装ガン2先端の座標から直接求める必要はなく、上述した運動学変換式(1)～(4)を用いることによって各回転軸1c1～1c4の角度から求めることができる。

【0038】次に、動作範囲指示装置17が、塗装ガン2先端を図4に示す軌道を描くように移動させる処理について、図6～図10に示すPAD図を参照して説明する。オペレータが、上記処理の開始を指示すると、動作範囲指示装置17は図4に示すA点まで塗装ガン2の先端を移動させた後、図6のステップSA1へ進む。ステップSA1では、タイマ15が10msecのサンプリング間隔で出力するパルス信号を受信する度に、モータドライバ18の状態、および、位置フィードバック値（図5の θ_{ir} 、但し $i=1\sim4$ ）をRAM13へ読み込み、ステップSA2へ進む。ステップSA2では、後述

する図 7 および図 8 に示す処理を行い、目標値（図 5 の θ_{iref} 、但し $i = 1 \sim 4$ ）を算出し、ステップ S A 3 へ進む。ステップ S A 3 では、ステップ S A 1 で読み込んだ位置フィードバック値 θ_{if} とステップ S A 2 で求めた目標値 θ_{iref} を基に速度指令値（図 5 の u_{ik} 、但し $i = 1 \sim 4$ ）を算出し、ステップ S A 4 へ進む。ステップ S A 4 では、モータドライバ 18 へ速度指令値 u_{ik} を出力した後、一例の処理を終了する。この処理は前述のように 10 msec ごとに繰り返される。

$$\phi = (-\pi/2) - (\theta_2 + \theta_3) \dots \dots \dots (17)$$

また、以下に示す $\Delta\theta_i$ （但し $i = 1 \sim 3$ ）の値は 5° であるとする。

【0040】動作範囲指示装置 17 の処理が、図 6 に示すステップ S A 2 へ進むと、該処理は更に図 7 のステップ S B 1 へ進む。ステップ S B 1 では、回転軸 1 c 1 の目標値 θ_{1ref} に、その最大角度 θ_{1max} を代入し、ステップ S B 2 へ進む。ステップ S B 2 では、該目標値 θ_{1ref} が、その最小角度 θ_{1min} より小さい間、ステップ S B 3 からステップ S B 14 の処理を繰り返す。ステップ S B 3 および S B 4 では、回転軸 1 c 3 の目標値 θ_{3ref} および回転軸 1 c 2 の目標値 θ_{2ref} に、それぞれの最大角度 θ_{3max} および最大角度 θ_{2max} を代入し、ステップ S B 5 へ進む。

【0041】ステップ S B 5 では、回転軸 1 c 2 の目標値 θ_{2ref} が、その最小角度 θ_{2min} より大きい間、ステップ S B 6 の処理を繰り返す。ステップ S B 6 では、回転軸 1 c 2 の目標値 θ_{2ref} から $\Delta\theta_2$ を引く。ステップ S B 5 において、回転軸 1 c 2 の目標値 θ_{2ref} が、その最小角度 θ_{2min} 以下になるとステップ S B 7 へ進む。ステップ S B 7 では、回転軸 1 c 2 の目標値 θ_{2ref} に、その最小角度 θ_{2min} を代入し、ステップ S B 8 へ進む。ステップ S B 8 では、回転軸 1 c 3 の目標値 θ_{3ref} が、その最小角度 θ_{3min} より大きく、かつ、回転軸 1 c 2 と回転軸 1 c 3 との相対角度 ϕ が、その最小角度 ϕ_{min} より大きい間、ステップ S B 9 の処理を繰り返す。ステップ S B 9 では、回転軸 1 c 3 の目標値 θ_{3ref} から $\Delta\theta_3$ を引く。ステップ S B 8 において、回転軸 1 c 3 の目標値 θ_{3ref} が、その最小角度 θ_{3min} 以下となるか、あるいは、回転軸 1 c 2 と回転軸 1 c 3 との相対角度 ϕ が、その最小角度 ϕ_{min} 以下になると、図 8 に示すステップ S B 10 へ進む。

【0042】ステップ S B 10 では、回転軸 1 c 2 の目標値 θ_{2ref} が、その最大角度 θ_{2max} より小さい間、ステップ S B 11 の処理を繰り返す。ステップ S B 11 では、回転軸 1 c 2 の目標値 θ_{2ref} に $\Delta\theta_2$ を加える。ステップ S B 10 において、回転軸 1 c 2 の目標値 θ_{2ref} が、その最大角度 θ_{2max} 以上になると、ステップ S B 12 へ進む。ステップ S B 12 では、回転軸 1 c 3 の目標値 θ_{3ref} が、その最大角度 θ_{3max} より小さい間、ステップ S B 13 の処理を繰り返す。ステップ S B 13 では、

【0039】続いて、図 6 のステップ S A 2 に示した処理、すなわち、動作範囲指示装置 17 が各回転軸 1 c 1 \sim 1 c 4 の目標値 θ_{iref} を生成する処理について、図 7 および図 8 に示す P A D 図を参照して説明する。ここで、各回転軸 1 c 1 \sim 1 c 4 の最大角度 θ_{imax} 、最小角度 θ_{imin} 、および、回転軸 1 c 2 と回転軸 1 c 3 との相対角度 ϕ の最大角度、最小角度は、ロボット 1 の仕様によってあらかじめ決定されている。尚、上記相対角度 ϕ は次に示す式（17）を用いて計算することができる。

回転軸 1 c 3 の目標値 θ_{3ref} に $\Delta\theta_3$ を加える。ステップ S B 12 において、回転軸 1 c 3 の目標値 θ_{3ref} が、その最大角度 θ_{3max} 以上になると、ステップ S B 14 へ進む。ステップ S B 14 では、回転軸 1 c 1 の目標値 θ_{1ref} から $\Delta\theta_1$ を引き、ステップ S B 2 へ戻る。ステップ S B 2 において、回転軸 1 c 1 の目標値 θ_{1ref} が、その最小角度 θ_{1min} 以上になると一例の処理を終了する。

【0043】尚、図 7 および図 8 に示した $\Delta\theta_i$ （但し $i = 1 \sim 3$ ）の値は 5° であるとしたが、 $\Delta\theta_i$ の値は任意の値に設定することが可能であり、この値を大きくすれば、塗装範囲の外縁を描くときの塗装ガン 2 先端の移動速度は上がる。

【0044】図 6 \sim 図 8 に従って処理を行う場合、動作範囲指示装置 17 が回転軸 1 c 1 を $\theta_{imin} \sim \theta_{imax}$ に渡って 5° ずつ回転させるのに従って、塗装ガン 2 先端は z 軸方向に移動するので、複数の高さの x y 平面において塗装範囲の外縁を示すことになる。しかし、実際の教示では、塗装の対象となるワークの高さに合わせて、特定の高さの x y 平面上の塗装範囲のみが必要となる場合が多い。この場合、オペレータが、手元操作装置 4 を用いて、塗装範囲を求めたい x y 平面の高さを指定した後、動作範囲指示装置 17 に上記処理の開始を指示すると、動作範囲指示装置 17 は、図 7 に示すステップ S B 1 および S B 2 の処理を行わず、任意の θ_1 に対してステップ S B 3 \sim S B 14 を 1 度だけ実行する。

【0045】次に、動作範囲指示装置 17 が、塗装ガン 2 先端を塗装範囲の外縁に沿って移動させながら塗料を吐出させ、塗装範囲の外縁を床面に描かせる処理について図 6 および図 9 に示す P A D 図を参照しながら説明する。尚、塗装ガン 2 先端と床面との距離が大きすぎる場合には、オペレータは塗装ガン 2 先端延長用の治具等を用いて塗装ガン 2 先端を床面に近づける。尚、図 6 に示す P A D 図の各ステップで行われる処理の説明は、既に述べてあるので省略する。オペレータが上記処理の開始を指示すると、動作範囲指示装置 17 は、図 6 に示すステップ S A 1 を経てステップ S A 2 へ進み、更にステップ S A 2 で図 9 に示す処理へ進む。

【0046】図 9 に示す処理は、ステップ S C 1 および S C 13 で塗装ガン 2 から塗料の吐出を開始および停止することを除くと、図 7 および図 8 のステップ S B 3 \sim

20

30

40

50

S B 1 3に示した処理と同じものであるので、その説明を省略する。尚、アーム1 bの先端に塗装ガン2の代わりに軌道描画用のペンを取り付け、上記ペンが図9に示すステップS C 1で床面に下ろされ、S C 1 3で床面から上げられることによって、塗装ガン2先端の軌道を床面に描くことも考えられる。

【0047】次に、CPU11が、塗装範囲の内側において、塗装ガン2先端を図10に示すような軌道で移動させるために、塗装ガン先端位置X〔0〕～X〔27〕を求める処理について図11および図12に示すPAD図を参照して説明する。尚、塗装ガン先端位置X〔t p〕は、塗装ガン2の座標値(x, y, z)および塗装ガン2の向きαからなる数値の組(x, y, z, α)であり、t pは図10に示した塗装軌道上において塗装ガン2先端が移動していく順番を表す。つまり、塗装ガン先端位置X〔0〕～X〔27〕が与えられると、制御装置3は、塗装ガン2先端を、塗装ガン先端位置X〔0〕から、X〔1〕、X〔2〕・・・X〔26〕、X〔27〕という順番で移動させる。

【0048】オペレータが上記処理の開始を指示すると、CPU11は図11のステップSD1へ進む。ステップSD1では、塗装ガン先端位置X〔t p〕を初期化し、さらにオペレータが手元操作装置4から入力した変数zをRAM13に読み込み、ステップSD2へ進む。ここで、変数zとは処理の対象となるxy平面のz軸に沿った位置(本実施例では塗装ガン2は床面に向かって塗装を行うので、該床面に平行な面の高さ)を表す。

【0049】ステップSD2では、変数i, j, t pに0を、Δjに+1をそれぞれ代入し、また、ma__fおよびl__ma__fをOFFとした後、ステップSD3へ進む。ここで、iおよびjは図10に示す破線の各交点(以下、参照点と称する)を指定する変数である。また、Δjは参照点を参照していく方向を示す変数であり、Δjが+1の場合は図10に示すy軸の正の方向へ、Δjが負の場合はy軸の負の方向へ、参照の対象となる参照点をずらし、その参照点が塗装ガン先端位置X〔t p〕であるか否かを判定していく。ma__fは直前に参照した参照点が塗装範囲内に入っていたか否かを示す変数であり、ma__fがONの場合は、直前に参照した参照点が塗装範囲内に入っていたことを、OFFの場合は入っていなかったことを示す。また、l__ma__fは2つ前に参照した参照点を対象とする事を除くと、ma__fと同じ変数である。

【0050】ステップSD3では、参照点の位置を示す座標(x, y)のうちのxに0を代入し、ステップSD4へ進む。ステップSD4では、xが図10に示すx_{max}以下の間、ステップSD5からステップSD17までの処理を繰り返す。ステップSD5では、yにy_{min}+Δy×jを、xにx_{min}+Δx×iを代入し、座標(x, y)を参照点とし、ステップSD6へ進む。ステ

ップSD6では、上述した逆運動学変換を用いて、塗装ガン2先端が上記参照点にあるときの各回転軸1 c 1～1 c 4の角度(θ₁, θ₂, θ₃, θ₄)を求め、ステップSD7へ進む。ステップSD7では、上記の式(17)を用いて回転軸1 c 2と回転軸1 c 3との相対角度φを求め、ステップSD8へ進む。

【0051】ステップSD8では、ステップSD6で求めた各回転軸の角度およびステップSD7で求めた相対角度φについて、それぞれの角度が、ロボット1の仕様によって決定される回転範囲内にあるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSD9へ進む。ステップSD9では、ma__fがOFFであるか否かを判断する。この判断結果が「YES」である場合には、ステップSD10へ進む。ステップSD10では、現在の塗装ガン2先端の位置(x, y, z, α)を塗装ガン先端位置X〔t p〕へ代入し、ステップSD11へ進む。

【0052】ステップSD11では、l__ma__fがONであるか否かを判断する。この判断結果が「YES」である場合には、ステップSD12へ進む。ステップSD12では、x〔t p-1〕に(x-Δx, y, z, α)を、ma__fにONを代入し、ステップSD13へ進む。一方、ステップSD11の判断結果が「NO」の場合には、ステップSD12へは進まず、ステップSD13へ進む。ステップSD13では、t pに1を加え、l__ma__fにma__fの値を、ma__fにONを代入し、iに1を加え、Δjに-1を乗じる。一方、ステップSD9の判断結果が「NO」の場合には、ステップSD14へ進む。ステップSD14では、l__ma__fにma__fを、ma__fにONを代入し、jにΔjを加える。

【0053】一方、ステップSD8の判断結果が「NO」の場合には、ステップSD15へ進む。ステップSD15では、ma__fがONであるか否かを判断する。この判断結果が「YES」である場合には、ステップSD16へ進む。ステップSD16では、Δjに-1を乗じ、jにΔjを加え、yにy_{min}+Δy×jを代入し、(x, y, z, α)をX〔t p〕へ代入し、t pに1を加える。次に、iに1を加え、xにx_{min}+Δx×iを代入し、(x, y, z, α)をX〔t p〕に代入し、t pに1を加える。最後に、l__ma__fにONを、ma__fにONを代入し、t pに1を加える。

【0054】一方、ステップSD15の判断結果が「NO」の場合には、ステップSD17へ進む。ステップSD17では、l__ma__fにma__fを代入する。その後、ma__fにOFFを代入し、jにΔjを加える。以上述べたステップSD5～SD17の処理を、ステップSD4においてxがx_{max}以下である間繰り返す。xがx_{max}を越えると、一例の処理を終了する。

【0055】次に、CPU11が、塗装ガン2先端が図

10に示す軌道を描きながら塗装ガン先端位置 $X[t_p]$ を順番に通過するようにロボット1を動かす処理について図13に示すPAD図を参照して説明する。オペレータが、上記処理の開始を指示すると、図13のステップSE1へ進む。ステップSE1では、タイマ15が10msecのサンプリング間隔で出力するパルス信号を受信する度に、モータドライバ18の状態、および、各回転軸1c1~1c4の角度フィードバック値をRAM13へ読み込み、ステップSE2へ進む。ステップSE2では、塗装ガン先端位置 $X[t_p]$ をRAM13から読み出し、ステップSE3へ進む。ステップSE3では、上記逆運動学変換式(5)~(16)を用いて、塗装ガン先端位置 $X[t_p]$ より各回転軸1c1~1c4の目標角度を算出し、ステップSE4へ進む。ステップSE4では、ステップSE1で読み込んだ位置フィードバック値 θ_{if} とステップSE3で求めた目標角度を基に速度指令値を算出し、ステップSE5へ進む。ステップSE5では、モータドライバ18へ速度指令値 u_{ik} を出力した後、一例の処理を終了する。

【0056】次に、図14~図16に示すように長方形のワーク30が塗装範囲31からはみ出している場合に、ワーク30を塗装範囲31の内側に移動させるための方向および移動量を求め、そのワーク30に対する教示データを修正する処理について図17~図19に示すPAD図を参照して説明する。オペレータが上記処理の開始を指示すると、CPU11は図17のステップSF1へ進む。ステップSF1では、教示データを図1に示すFDD14から同図に示すRAM13にロードし、ステップSF2へ進む。ステップSF2では、ステップSF1でロードされた教示データを、長方形を示すデータに変換し、ステップSF3へ進む。具体的には、図20に示すように、教示データが $p_0 \rightarrow p_1 \rightarrow \dots \rightarrow p_{11}$ という軌道を描くデータである場合には、CPU11は、この教示データを、上記軌道に外接する長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ を示すデータに変換する。

【0057】ステップSF3では、 $limit_f$ をONとし、ステップSF4へ進む。ここで $limit_f$ は、ONである場合には上記長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ が塗装範囲からはみ出していることを、OFFである場合には上記長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ が塗装範囲内に収まっていることを表す。ステップSF4では、 $limit_f$ がONである間、あるいは、ステップSF5~ステップSF25までの一連の処理の試行回数が10回以内である間は、ステップSF5~ステップSF25の処理を繰り返す。ステップSF5では、 h の値が0~3である間、ステップSF6~ステップSF15の処理を繰り返す。

【0058】ステップSF6では、 h の値が3であるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSF7へ進む。ステップSF7では、 X_0 に Q_h を代入し、 X_1 に Q_{h+1} を代入し、ステップSF9

へ進む。一方、ステップSF6の判断結果が「NO」の場合、つまり、 h の値が3である場合には、ステップSF8へ進む。ステップSF8では、 X_0 に Q_3 を代入し、 X_1 に Q_0 を代入し、ステップSF9へ進む。

【0059】ステップSF9では、大きさが1である単位ベクトル e_v を求め、ステップSF10へ進む。この単位ベクトル e_v の向きは、始点が点 X_0 、終点が点 X_1 であるベクトルと等しい。ステップSF10では、 lim_chk に0を代入し、ステップSF11へ進む。ステップSF11では、点 X_0 と点 X_1 とを結ぶ辺上の点について、単位ベクトル e_v が示す向きへ、長さ Δl の間隔ごとに、点 X_0 から点 X_1 まで参照点を移動させ、その各点についてステップSF12~ステップSF15の処理を行う。ステップSF12では、上記逆運動学変換(5)~(16)を用いて、塗装ガン先端が参照点にある場合のロボット1の各回転軸1c1~1c4の角度を求め、ステップSF13へ進む。ステップSF13では、ステップSF12で求めた各回転軸1c1~1c4の角度が、それぞれの最小角度 θ_{imin} および最大角度 θ_{imax} を越えているか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSF14へ進む。ステップSF14では、 $lim_chk[h]$ に1を加え、ステップSF11へ戻る。ステップSF11において、参照点が点 X_1 に達すると、ステップSF15へ進む。

【0060】ステップSF15では、 $lim_chk[h]$ に Δl を乗じた値を、点 X_0 と点 X_1 とを結ぶ辺の長さで割り、ステップSF16へ進む。ステップSF16では、長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ の辺のうち、 $lim_chk[h]$ の値が最も大きい辺を選択する。その後、最も大きい $lim_chk[h]$ の値を1として、他の3つの $lim_chk[h]$ の値を正規化し、ステップSF17へ進む。ステップSF17では、各辺に対応する $lim_chk[h]$ の値に応じて、条件分岐を行う。図14(a)に示すように、辺 $Q_0 Q_1$ と辺 $Q_2 Q_3$ とが塗装範囲からはみ出す場合、つまり、 $lim_chk[0]$ と $lim_chk[2]$ とが共に1である場合には、ステップSF18へ進む。ステップSF18では、図14(a)に示すように長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ の対角線の交点Gを中心として長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ を90°回転させる。

【0061】また、ステップSF17の条件分岐において、図14(b)に示すように、長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ の全ての辺が塗装範囲からはみ出す場合には、ステップSF19へ進む。ステップSF19では、この長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ を塗装範囲の内側に収めることは不可能であり、このロボットシステムを用いて塗装することはできないと判断する。また、ステップSF17の条件分岐において、図15(a)に示すように、長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ の辺のうち、塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が辺 $Q_0 Q_1$ である場合、つまり、 lim_chk

〔0〕が1である場合には、ステップSF20へ進む。ステップSF20では、図15(a)に示すように、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ をx軸の負の方向へ Δx だけ平行移動させる。

【0062】以下、ステップSF17の条件分岐において、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ の辺のうち、塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が、辺 Q_1Q_2 である場合(図15(b)参照)、つまり、 $lim_chk[1]$ が1である場合には、ステップSF21へ進み、ステップSF21では、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ をy軸の正の方向へ Δy だけ平行移動させる。塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が、辺 Q_2Q_3 である場合(図16(a)参照)、つまり、 $lim_chk[2]$ が1である場合には、ステップSF22へ進み、ステップSF22では、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ をx軸の正の方向へ Δx だけ平行移動させる。塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が、辺 Q_3Q_0 である場合(図16(b)参照)、つまり、 $lim_chk[3]$ が1である場合には、ステップSF23へ進み、ステップSF23では、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ をy軸の負の方向へ Δy だけ平行移動させる。

【0063】また、ステップSF17の分岐において、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ の全ての辺が塗装範囲内に収まっている場合、つまり、 $lim_chk[0] \sim lim_chk[3]$ が全て0である場合には、ステップSF24へ進む。ステップSF24では、この長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ は塗装範囲の内側に収まっており、平行移動は行う必要がなく、現在の位置で長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ 内の塗装の軌道を全て再生が可能であるとして、 $limit_f$ にOFFを代入する。ステップSF17における条件分岐と、各分岐先のステップSF18～SF24における処理を終了すると、ステップSF25へ進む。

【0064】ステップSF25では、ステップSF5～SF24の一連の処理を行った試行回数をインクリメントし、ステップSF4へ戻る。ステップSF4において、 $limit_f$ がOFF、または、上記試行回数が10回になると、ステップSF26へ進む。ステップSF4～SF25に示す処理の結果、ステップSF5～SF25で行った最大10回の平行移動または回転移動にもかかわらず長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ が塗装範囲の外にはみ出している場合には、 $limit_f$ はONである。また、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ が塗装範囲の中に収まりきった場合には、 $limit_f$ はOFFとなる。

【0065】ステップSF26では、 $limit_f$ がONであるか否か、あるいは、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ が大きすぎて塗装範囲の中に収まりきらないか否かを判断する。この判断において、 $limit_f$ がON、あるいは、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ が大きすぎると判断された場合には、ステップSF27へ進む。ステップSF27では、手元操作装置4に設けられた液晶表示装置に図21

に示すように「ワークガ オオキスギマス」というメッセージを出力する。一方、ステップSF26の判断において、 $limit_f$ がOFFであり、かつ、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ が大きすぎると判断されていない場合には、ステップSF28へ進む。ステップSF28では、教示データを、ワーク移動後の教示データに変換し、ステップSF29へ進む。ステップSF29では、手元操作装置4に設けられた液晶表示装置に「キョウジデータ ノヘンカンカンリョウ」というメッセージを出力する。さらに、この変換された教示データを用いてロボット1を動かし、オペレータに対し、新しい塗装の軌道を示した後、一例の処理を終了する。

【0066】ところで、塗装ガン2先端から吐出される塗料は、ある程度の範囲に広がって吹き付けられるので、図22に示すように、塗装範囲31に対して、教示データを変換した上記長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ のはみ出している部分の面積が微小である場合には、塗装の品質には影響を及ぼさない場合がある。このような場合には、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ が塗装範囲からはみ出している場合であっても、図18のステップSF18およびSF20～SF23に示した回転または平行移動処理を行う必要がなく、現在の教示データを補正するだけで良い。このような場合における教示データの補正方法について図23および24に示すPAD図を参照して説明する。

【0067】オペレータが上記処理の開始を指示すると、CPU11の処理は図23のステップSG1へ進む。ステップSG1およびSG2の処理は、上述したステップSF1およびSF2(図17参照)に示した処理と同じものである。ステップSG3では、 h の値が0～3である間、ステップSG4～SG15の処理を繰り返す。ステップSG4では、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ の頂点 Q_h へ塗装ガン2先端を移動させ、そのときのロボット1の姿勢における各回転軸1c1～1c4の角度 $\theta_1 \sim \theta_4$ を求め、 $limit_f$ にOFFを代入し、ステップSG5へ進む。この時、上記逆運動学変換式(5)～(16)を用いても角度 $\theta_1 \sim \theta_4$ を求めることができない場合には、図22に示すように、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ の辺 Q_3Q_0 と塗装範囲外縁との交点を Q'_0 とし、辺 Q_1Q_2 と塗装範囲外縁との交点を Q'_1 とし、この Q'_h ($h=0, 1$)に塗装ガン2先端を移動させたときのロボット1の姿勢における各回転軸1c1～1c4の角度 $\theta_1 \sim \theta_4$ を求める。この場合、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ の頂点の位置を補正したので、 $limit_f$ をONする。

【0068】ステップSG5では、 i の値が1～4である間、ステップSG6～SG9の処理を繰り返す。ステップSG6では、ステップSG4で求めた θ_i がその最大角度 θ_{imax} より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSG7へ進む。ステップSG7では、 $limit_f$ にONを代入し、 θ_i に θ_{imax} を代入し、ステップSG10へ進む。一方、

ステップSG6の判断結果が「NO」の場合には、ステップSG8へ進む。ステップSG8では、ステップSG4で求めた θ_i がその最小角度 θ_{imin} より小さいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSG9へ進む。ステップSG9では、 $limit_f$ にONを代入し、 θ_i に θ_{imin} を代入し、ステップSG10へ進む。

【0069】ステップSG10では、 $limit_f$ がONであるか否かを判断する。この判断結果が「YES

$$\Delta q = |Q'_h - Q_h| \cdots \cdots (18)$$

【0070】ステップSG13では、 Δq が所定の値 ε より小さいか否かを判断する。 ε はオペレータが手元操作装置4を用いて、あらかじめ制御装置3内のRAM13に設定してある値である。本実施例では、 $\varepsilon = 50 \text{ cm}$ とする。ステップSG13の判断結果が「YES」である場合には、ステップSG14へ進む。ステップSG14では、 Q_h に Q'_h を代入し、ステップSG3へ戻る。一方、ステップSG13の判断結果が「NO」の場合には、ステップSG15へ進む。ステップSG15では、現在の教示データを再生した場合、高い塗装品質が得られないこと、あるいは、塗装が不可能であることを手元操作装置4の表示部に表示し、ステップSG3へ戻る。ステップSG3においてhの値が3を越え、一例の処理を終了する。

【0071】次に、図25に示すように、ワークがターンテーブルの上に載っており、所定の回転中心Cを中心とする円弧上を移動し、塗装範囲の内側に入ってくる場合を考える。この場合において、ワークを移動させる上記ターンテーブルの回転角度を求める方法、およびその回転によって移動するワークに対する教示データの変換方法について図26～図28に示すPAD図を参照して説明する。オペレータが、上記処理の開始を指示すると、CPU11は図26のステップSH1へ進む。ステップSH1では、ワークの教示データ、および、ターンテーブルの情報をFDD14からRAM13へ読み出し、ステップSH2へ進む。ステップSH2～SH16で行う処理は、図17を参照して説明したステップSF2～SF16の処理と同じものである。ステップSH16に示す処理を終了すると、図27に示すステップSH17へ進む。

【0072】ステップSH17では、各辺に対応する $lim_chk[h]$ の値に応じて、条件分岐を行う。図25のAに示すように、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ の全ての辺が塗装範囲からはみ出している場合、つまり、 $lim_chk[h]$ が全て1である場合には、ステップSH18へ進み、ターンテーブルを 180° 回転させる。また、ステップSH17の条件分岐において、図25のBに示すように、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ の辺のうち、塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が辺 Q_3Q_0 である場合、つまり、 $lim_chk[3]$ が1である場合に

S」の場合には、ステップSG11へ進む。ステップSG11では、ロボット1の各回転軸 $1c1 \sim 1c4$ の角度がそれぞれステップSG6～SG9にて修正した角度 $\theta_1 \sim \theta_4$ である場合の塗装ガン2先端の位置を求め、その位置を Q'_h とし、ステップSG11へ進む。ステップSG12では、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ の頂点 Q_h と、ステップSG11で求めた塗装ガン2の位置 Q'_h との距離 Δq を次に示す式(18)を用いて求め、ステップSG13へ進む。

は、ステップSH19へ進み、ターンテーブルを右回り方向へ $\Delta\phi$ 回転させる。同様に、ステップSH17の条件分岐において、図25のCに示すように、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ の辺のうち、塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が辺 Q_1Q_2 である場合、つまり、 $lim_chk[1]$ が1である場合には、ステップSH20へ進み、ターンテーブルを左回り方向へ $\Delta\phi$ 回転させる。

【0073】また、図25のDに示すように、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ の全ての辺が塗装範囲内に入っている場合、つまり、 $lim_chk[h]$ が全て0である場合には、ステップSH21へ進み、ターンテーブルは回転させず、 $limit_f$ にOFFを代入する。ステップSH17における条件分岐と、各分岐先のステップSH18～SH21における処理を終了すると、ステップSH22へ進む。ステップSH22では、ステップSH5～SF22の処理を行った試行回数をインクリメントし、ステップSH4へ戻る。ステップSH4において、 $limit_f$ がOFF、または、ステップSH5～SH22の処理を行った試行回数が10回より大きいならば、ステップSH23へ進む。

【0074】ステップSH23では、 $limit_f$ がONであるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSH24へ進む。ステップSH24では、図21に一例を示すようなメッセージを、手元操作装置4の表示部へ出力する。一方、ステップSH23の判断結果が「NO」の場合には、ステップSH25へ進む。ステップSH25では、教示データを、ステップSH18～SH20で求めたターンテーブルの回転角度に基づいて変換し、ステップSH26へ進む。ステップSH26では、ターンテーブルに、ステップSH18～SH20で求めた回転角度を送信する。ステップSH24またはSH26の処理を終了した後、一例の処理を終了する。図25に示すように、ワークがターンテーブルの上に載っており、所定の回転中心Cを中心とする円弧上を移動する場合に、上記図26～図28に示す処理を適用すると、制御装置3はターンテーブルに対してワークの位置の変更を自動的に指示するので、オペレータはワークの位置を厳しく決めて配置する必要はなく、塗装品質が向上する。

【0075】次に、塗装ガン2先端を、塗装範囲内の各

座標点から所定の方向へ1m/secの速度で移動させる場合に、各回転軸1c1~1c4の最大角速度を移動時の各回転軸1c1~1c4の角速度で割った角速度比を各回転軸1c1~1c4について求め、それらのうち最小の値である角速度能力値を各座標点について求める処理について図29に示すPAD図を参照して説明する。尚、これまで示した実施例では、z軸方向の値を定数 ω とする特定のxy平面を対象とする処理について説明してきたが、図29に示す処理では、z軸方向の値も可変とした3次元空間内の全ての座標点を対象とした処理について説明する。

$$e_v = v_v / v_{el} \quad \dots \dots \dots (19)$$

【0077】ステップS14~S19では、変数iの値を0~1に、変数jの値を0~mに、変数kの値を0~nに変化させていき、それぞれの値を次に示す式(2

$$x = x_{min} + \Delta x \times i \quad \dots \dots \dots (20)$$

$$y = y_{min} + \Delta y \times j \quad \dots \dots \dots (21)$$

$$z = z_{min} + \Delta z \times k \quad \dots \dots \dots (22)$$

ステップS110では、上述した逆運動学変換式(5)~(16)を用いて、塗装ガン2先端が上記参照点(x, y, z)にある場合の各回転軸1c1~1c4の角度 $\theta_1 \sim \theta_4$ を算出し、ステップSH11へ進む。ステップS111では、ステップS110で求めた角度 $\theta_1 \sim \theta_4$ を用いて逆ヤコビ行列 J_M^{-1} を求め、ステップSH12へ進む。ここでヤコビ行列 J_M は、上記運動学変換式(1)~(4)を $\theta_1 \sim \theta_4$ で偏微分した4×4の行列である。

【0078】ステップS112では、各回転軸1c1~
(d/dt) $\theta_M = J_M^{-1} \cdot e_v \quad \dots \dots \dots (23)$

【0079】ステップS113では、各回転軸1c1~1c4について、ステップS112で求めた角速度(d/d

$$R_i = (d/dt) \theta_{imax} / (d/dt) \theta_i \quad (但し、i = 1 \sim 4) \quad \dots \dots \dots (24)$$

ステップS114では、 $R_1 \sim R_4$ のうちの最小値を、上記座標点(x, y, z)における速度能力値として、配列v[i, j, k]に格納する。以上述べたステップS110~S114の処理を、ステップS14~S19でその座標値が求められる全ての参照点(x, y, z)について繰り返した後、一例の処理を終了する。

【0080】次に、速度ベクトル v_v の大きさ v_{el} より大きい上記速度能力値を示す座標点の集合を速度能力領域と定義し、該速度能力領域の外縁に沿って塗装ガン2先端を移動させる場合に、制御装置3が塗装ガン2先端を順次通過させていく座標点tcpを求める処理について図30~図34に示すPAD図を参照して説明する。尚、図29に示した処理では、z軸方向の値も可変とした3次元空間を対象として処理を行ったが、図30~図34に示す処理では、図35に示すようにzを定数 ω に固定した所定のxy平面上を対象として処理を行う。

【0081】オペレータが上記処理の開始を指示する

【0076】オペレータが上記処理の開始を指示すると、図29のステップS11へ進む。ステップS11では、オペレータが手元操作装置4を用いて任意の速度ベクトル v_v を入力すると、その値をRAM13に読み込み、ステップS12へ進む。ステップS12では、速度ベクトル v_v の大きさを求め、その値を変数 v_{el} に代入し、ステップS13へ進む。ステップS13では、速度ベクトル v_v と同じ向きであり、かつ、その大きさが1mである方向ベクトル e_v を次に示す式(19)を用いて算出し、ステップS14へ進む。

0)~(22)に代入して上記角速度能力値を算出する参照点の座標値(x, y, z)を求め、ステップSH10へ進む。

$$\dots \dots \dots (20)$$

$$\dots \dots \dots (21)$$

$$\dots \dots \dots (22)$$

1c4の角速度(d/dt) θ_i を次に示す式(23)を用いて求め、ステップSH13へ進む。尚、上述したように(d/dx)はxについて1回微分することを、(d/dx)²はxについて2回微分することを示す。また、(d/dt) $\theta_M = [(d/dt) \theta_1, (d/dt) \theta_2, (d/dt) \theta_3, (d/dt) \theta_4]^T$ であり、(d/dt) θ_1 は回転軸1c1の角速度を、(d/dt) θ_2 は回転軸1c2の角速度を、(d/dt) θ_3 は回転軸1c3の角速度を、(d/dt) θ_4 は回転軸1c4の角速度をそれぞれ表している。また、 J_M^{-1} は上記ヤコビ行列 J_M の逆行列である。

$$\dots \dots \dots (23)$$

t) θ_i と、最大角速度(d/dt) θ_{imax} との比 R_i を次に示す式(24)を用いて求め、ステップSH24へ進む。

$$\dots \dots \dots (24)$$

と、図30のステップSJ1へ進む。ステップSJ1では、 i_{min} , i_{limmax} には1を、 j_{min} , j_{limmax} にはmを、i, j, i_{max} , j_{max} , i_{limmin} , j_{limmin} , $file_num$ には0を代入し、ステップSJ2へ進む。ここで、iおよびjは、図35に示すxy平面において処理の対象となる座標点(参照点)を指定するための変数である。また、

i_{min} , i_{max} , j_{min} , j_{max} は、上記参照点の集合である領域を指定する定数であり、この領域は、具体的には図35に示す(i, j) = (0, 0), (1, 0),

(0, m), (1, m)の4点を頂点とする長方形の内側を指す。また、 i_{limmin} , i_{limmax} , j_{limmin} , j_{limmax} は、上記参照点(i, j)が上記長方形の内側にあるか否かの判断に使用される変数である。また、 $file_num$ は処理の対象となる教示データを識別するためのファイル番号である。

【0082】ステップSJ2では、 l_status , $status$ をNOとし、 $counter$ に0を、 Δ

$i, \Delta j$ に+1を、 dir に x を代入し、ステップS J 3へ進む。ここで、 $status$ は、その値がYESならば直前に処理した参照点における塗装ガン2先端の移動速度が速度 vel より大きいことを、NOならば該移動速度が速度 vel より小さいことを示す。 l_status は、2つ前に処理した参照点における塗装ガン2先端の移動速度について $status$ と同じ内容を示す。また、 dir は塗装ガン2先端が速度領域の外縁に沿って移動する場合の移動方向を示し、 dir の値が x の場合には塗装ガン2先端は x 軸方向へ移動していることを、また y の場合には y 軸方向へ移動していることを示している。また、 Δi および Δj は変数 i および j の増減量を、 $counter$ は塗装ガン2先端が座標点 tcp を通過していく順番を示している。

【0083】ステップS J 3では、 $v[i, j, \omega]$ が速度ベクトル v_v の大きさ vel より小さい間、ステップS J 4~S J 12の処理を繰り返す。ステップS J 4では、 i に Δi を加え、ステップS J 5へ進む。ステップS J 5では、 i が i_lim_{max} より大きいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップS J 6へ進む。ステップS J 6では、 Δi に-1をかけ、ステップS J 7へ進む。ステップS J 7では、 i に i_lim_{max} を代入し、ステップS J 8へ進む。ステップS J 8では、 j に Δj を加え、ステップS J 9へ進む。一方、ステップS J 5の判断結果が「NO」である場合には、そのままステップS J 9へ進む。

【0084】ステップS J 9では、 i が i_lim_{min} より小さいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップS J 10へ進む。ステップS J 10では、 Δi に-1をかけ、ステップS J 11へ進む。ステップS J 11では、 i に i_lim_{min} を代入し、ステップS J 12へ進む。ステップS J 12では、 j に Δj を加え、ステップS J 3へ戻る。一方、ステップS J 9の判断結果が「NO」である場合には、そのままステップS J 3へ戻る。ステップS J 3において、 $v[i, j, \omega]$ が速度ベクトル v_v の大きさ vel 以上になると、ステップS J 13へ進む。

【0085】ステップS J 13では、 x に $x_{min} + \Delta x \times i$ を、 y に $y_{min} + \Delta y \times j$ を代入し、ステップS J 14へ進む。ステップS J 14では、ステップS J 13で求めた x, y で指定される点 (x, y) を教示点として $tcp[counter]$ へ代入し、 $counter$ に1を加え、 $status$ にYESを代入し、ステップS J 15へ進む。ステップS J 15では、 $tcp[counter]$ が $tcp[0]$ と等しくない間、ステップS J 16~S J 50の処理を繰り返す。図32に示すステップS J 16では、 $v[i, j, \omega]$ が速度ベクトル v_v の大きさ vel より大きいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップS J 17へ進む。ステップS J 17では、 dir が x であるかなんかを

を判断する。この判断結果が「YES」の場合には、図33に示すステップS J 18へ進む。

【0086】ステップS J 18では、 $v[i, j - \Delta j, \omega]$ が速度ベクトル v_v の大きさ vel より大きいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップS J 19へ進む。ステップS J 19では、 dir に y を代入し、 Δj に-1をかけ、図32に示すステップS J 32へ進む。一方、ステップS J 18の判断結果が「NO」の場合には、ステップS J 20へ進む。ステップS J 20では、 x に $x_{min} + \Delta x \times i$ を、 y に $y_{min} + \Delta y \times j$ を代入し、 $tcp[counter]$ に点 (x, y, ω) を教示点として代入する。その後、 $counter$ に1を、 i に Δi を加え、ステップS J 21へ進む。

【0087】ステップS J 21では、 i が i_lim_{min} より小さいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップS J 22へ進む。ステップS J 22では、 i に i_lim_{min} を代入し、 j に Δj を加え、 Δi に-1をかけ、ステップS J 23へ進む。一方、ステップS J 21の判断結果が「NO」の場合には、そのままステップS J 23へ進む。ステップS J 23では、 i が i_lim_{max} より大きいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップS J 24へ進む。ステップS J 24では、 i に i_lim_{max} を代入し、 j に Δj を加え、 Δi に-1をかけ、図32に示すステップS J 32へ進む。

【0088】一方、図32に示すステップS J 17の判断結果が「NO」の場合には、図33に示すステップS J 25へ進む。ステップS J 25では、 $v[i - \Delta i, j, \omega]$ が速度ベクトル v_v の大きさ vel より大きいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップS J 26へ進む。ステップS J 26では、 dir に x を代入し、 Δi に-1をかけ、図32に示すステップS J 32へ進む。一方、ステップS J 25の判断結果が「NO」の場合には、ステップS J 27へ進む。ステップS J 27では、 x に $x_{min} + \Delta x \times i$ を、 y に $y_{min} + \Delta y \times j$ を代入し、 $tcp[counter]$ に点 (x, y, ω) を教示点として代入する。その後、 $counter$ に1を、 j に Δj を加え、ステップS J 28へ進む。

【0089】ステップS J 28では、 j が j_lim_{min} より小さいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップS J 29へ進む。ステップS J 29では、 j に j_lim_{min} を代入し、 i に Δi を加え、 Δj に-1をかけ、ステップS J 30へ進む。一方、ステップS J 28の判断結果が「NO」である場合には、そのままステップS J 30へ進む。

【0090】ステップS J 30では、 j が j_lim_{max} より大きいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップS J 31へ進む。ステップ

SJ31では、jに j_lim_{max} を代入し、iに Δi を加え、 Δj に-1をかけ、図32に示すステップSJ32へ進む。一方、ステップSJ30の判断結果が「NO」である場合には、そのままステップSJ32へ進む。ステップSJ32では、 l_status に現在の $status$ の値を、 $status$ にNOを代入し、図30に示すステップSJ15へ戻る。

【0091】一方、図32に示すステップSJ16の判断結果が「NO」の場合には、ステップSJ33へ進む。ステップSJ33では、 $status$ がYESであるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSJ34へ進む。ステップSJ34では、 dir がxであるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSJ35へ進む。ステップSJ35では、 dir にyを代入し、iから Δi を引き、jに Δj を加える。さらに、 l_status に現在の $status$ の値を、 $status$ にNOを代入し、図34に示すステップSJ37へ進む。

【0092】一方、図32に示すステップSJ34の判断結果が「NO」の場合には、ステップSJ36へ進む。ステップSJ36では、 dir にxを代入し、jから Δj を引き、iに Δi を加える。さらに、 l_status に現在の $status$ の値を、 $status$ にNOを代入し、図34に示すステップSJ37へ進む。ステップSJ37では、 $status$ がNOであるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSJ38へ進む。ステップSJ38では、 l_status がNOであるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSJ39へ進む。ステップSJ39では、 dir がyであるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSJ40へ進む。ステップSJ40では、jに Δj を加え、図30に示すステップSJ15へ戻る。一方、ステップSJ39の判断結果が「NO」の場合には、ステップSJ41へ進む。ステップSJ41では、iに Δi を加え、図30に示すステップSJ15へ戻る。

【0093】一方、ステップSJ38の判断結果が「NO」の場合には、ステップSJ42へ進む。ステップSJ42では、 dir がxであるか否かを判断する。この判断結果が「YES」である場合には、ステップSJ43へ進む。ステップSJ43では、 $v[i, j-\Delta j, \omega]$ が速度ベクトル v_v の大きさ vel より大きいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSJ44へ進む。ステップSJ44では、 $tcp[counter]$ に $(i, j-\Delta j, \omega)$ を教示点として代入し、図30に示すステップSJ15へ戻る。一方、ステップSJ43の判断結果が「NO」の場合には、ステップSJ45へ進む。ステップSJ45では、 dir にyを代入し、 Δj に-1を掛け、iに Δi を加え、ステップSJ46へ進む。ステップSJ46では、

l_status に $status$ の値を代入し、 $status$ にNOを代入し、図30に示すステップSJ15へ戻る。

【0094】一方、ステップSJ42の判断結果が「NO」の場合には、ステップSJ47へ進む。ステップSJ47では、 $v[i-\Delta i, j, \omega]$ が速度ベクトル v_v の大きさ vel より大きいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSJ48へ進む。ステップSJ48では、 $tcp[counter]$ に $(i-\Delta i, j, \omega)$ を教示点として代入し、図30に示すステップSJ15へ戻る。一方、ステップSJ47の判断結果が「NO」の場合には、ステップSJ49へ進む。ステップSJ49では、 dir にxを代入し、 Δi に-1を掛け、jに Δj を加え、ステップSJ50へ進む。ステップSJ50では、 l_status に $status$ の値を代入し、 $status$ にNOを代入し、図30に示すステップSJ15へ戻る。

【0095】上記ステップSJ14～SJ50の処理を $tcp[counter]$ が $tcp[0]$ と等しくなるまで繰り返す。ステップSJ15において、 $tcp[counter]$ が $tcp[0]$ と等しくなると、ステップSJ51へ進む。ステップSJ51では、ステップSJ1で設定した各変数の初期値を変更し、動作範囲全域をチェックするまでステップSJ16～SJ50の処理を行う。具体的には、 i_lim_{min} に i_{min} を、 i_lim_{max} に i を、 j_lim_{min} に j_{min} を、 j_lim_{max} に m を代入し、再びステップSJ15～SJ50の処理を行い、それらの処理の終了後、さらにステップSJ51で、 i_lim_{min} に0を、 i_lim_{max} に i_{max} を、 j_lim_{min} に0を、 j_lim_{max} に j_{max} を代入し、再びステップSJ15～SJ50の処理を行い、一例の処理を終了する。

【0096】図30～図34のPAD図に示した処理を用いると、塗装ガン2は塗料を吐出しながら速度能力領域の外縁に沿って移動するので、図36に示すように網5の上にワーク6を置いて網塗りを行う場合には、オペレータは、網5の上に実際に速度能力領域を描かせ、その網5に描かれた速度能力領域内にワーク6を設置することができる。

【0097】次に、CPU11が、速度能力領域の内部において図37に示すような軌道で、塗装ガン2先端を移動させる処理について図38に示すPAD図を参照して説明する。オペレータが上記処理の開始を指示すると、CPU11は図38に示すステップSK1へ進む。ステップSK1では、iに1を、jに0を、 Δi に-1を、 Δj に+1を代入し、ステップSK2へ進む。ステップSK2では、iが0より大きい間、ステップSK3～SK12の処理を繰り返す。ステップSK3では、 $v[i, j, \omega]$ が速度ベクトル v_v の大きさ vel より大きいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の

場合には、ステップSK4へ進む。ステップSK4では、 x に $x_{\min} + \Delta x \times i$ を、 y に $y_{\min} + \Delta y \times j$ を代入し、ステップSK5へ進む。ステップSK5では、塗装ガン2先端を点 (x, y, w) へ移動させ、ステップSK6へ進む。ステップSK6では、塗装ガン2から塗料を吐出、または、制御装置3に内蔵されたスピーカ16から警告音を鳴らし、ステップSK8へ進む。

【0098】一方、ステップSK3の判断結果が「NO」の場合には、ステップSK7へ進む。ステップSK7では、塗装ガン2は塗料を吐出せず、あるいは制御装置3は上記警告音を鳴らさず、ステップSK8へ進む。ステップSK8では、 j に Δj を加え、ステップSK9へ進む。ステップSK9では、 j が m より大きいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSK10へ進む。ステップSK10では、 j に m を、 Δj に -1 を代入し、 i に Δi を加え、ステップSK11へ進む。一方、ステップSK9の判断結果が「NO」の場合には、そのままステップSK11へ進む。

【0099】ステップSK11では、 j が0より小さいかなんかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSK12へ進む。ステップSK12では、 j に0を、 Δj に $+1$ を代入し、 i に Δi を加えステップSK2へ戻る。一方、ステップSK11の判断結果が「NO」の場合には、そのままステップSK2へ戻る。ステップSK2において、 i が0より大きいかなんかを判断し、ステップSK3～SK12の処理を i が0より大きい間繰り返した後、一例の処理を終了する。

【0100】図38のPAD図に示した処理を行うと、塗装ガン2先端は図37に示すような軌道を床面に描くが、この他に、塗装ガン2先端が速度能力領域からはみ出した場合に、スピーカ16より警告音を鳴らすようにしても良い。また、制御装置3にパトライトを設け、塗装ガン2先端が速度能力領域からはみ出した場合に、上記警告音の代わりに該パトライトを点滅させたり、該パトライトの点灯色を切り換えても良い。また、図38のPAD図に示した処理を行うと、塗装ガン2先端は図37に示すような軌道を描きながら移動するので、オペレータは、図39に示すように、そのとき床面に描かれた軌道に合わせてワーク6を置くことができる。

【0101】次に、塗装ガン2先端を塗装範囲内の各座標点から所定の方向へ所定の速度で移動させる場合において、各回転軸1c1～1c4の角速度を各回転軸1c1～1c4の最大角速度で割った値を上記各座標点について求め、この値を考慮する事によって、ロボット1が

$$w = f(\theta) \dots \dots \dots (24)$$

とする。塗装ガン2先端の速度は、

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\partial f(\theta)}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt} \dots \dots \dots (25)$$

と表すことができる。ここで $f(\theta)$ の θ による偏微分

その性能を最も引き出せる位置へワークを移すように教示データを変換する処理について図40および図41に示すPAD図を参照して説明する。オペレータ上記処理の開始を指示すると、CPU11は図40のステップSL1へ進む。ステップSL1では、オペレータの教示操作により教示データを作成、あるいは、既に教示の終了した教示データをRAM13にロードする。また、CPU11は、ロボット1の動作を調整する各種パラメータをRAM13にロードする。これらの処理の後、ステップSL2へ進む。

【0102】ステップSL2では、上記教示データによって決定される塗装作業面の上記ロボットベース座標系における位置および方向を算出し、ステップSL3へ進む。ステップSL3では、教示データ内の教示点のうち、1番目に教示された教示点と2番目に教示された教示点とを結ぶ直線を求め、その直線方向を塗装ガン2先端の動作方向とする。ステップSL4では、先に図20に示したように、教示データを長方形Q0Q1Q2Q3を表すデータへ変換し、該長方形Q0Q1Q2Q3の対角線の交点をワークの中心とし、ステップSL5へ進む。

【0103】ステップSL5では、変数 x を $x_{\min} \sim x_{\max}$ の範囲において所定距離 Δx の間隔で変化させながら、該変数 x によって x 軸上の座標値を指定される $y-z$ 平面に対して、ステップSL6～SL7の処理を行う。ここで x_{\min} 、 x_{\max} は、ロボット1の仕様によって決定される上記塗装範囲において、塗装ガン2先端の x 軸方向の移動範囲を指定する値であり、以下に述べる y_{\min} 、 y_{\max} および z_{\min} 、 z_{\max} もそれぞれ同様に上記塗装範囲における塗装ガン2先端の y 軸方向および z 軸方向の移動範囲を指定する。

【0104】ステップSL6では、塗装ガン2先端が y 軸に沿った方向へ移動する場合において、教示によって与えられた速度以上の速度で移動することのできる領域の面積（以下、上記領域の面積を速度領域面積と称する）を求める。そして、求めた上記速度領域面積が変数 $y_{x_v}[i]$ の値より大きい場合には、該変数 $y_{x_v}[i]$ の値を上記速度領域面積に更新し、この時の x の値を $y_{x}[i]$ に格納し、ステップSL7へ進む。

【0105】ステップSL7で行う処理の説明に移る前に、ステップSL6において速度領域面積を求める具体的計算方法を以下に述べる。塗装ガン2先端の位置を w とすると、この位置 w は上記運動学変換式(1)～(4)によって各回転軸1c1～1c4の角度の関数として表現できる。ここで、

【数2】

はヤコビ行列 J_M である。

【0106】式(25)より、各軸の角速度(d/dt) θ

$$(d/dt) \theta = J^{-1} \cdot (d/dt) w \dots \dots \dots (26)$$

と表すことができ、この式の(d/dt) w に教示された塗装速度を代入すると、(d/dt) θ が得られる。この(d/dt) θ と各軸の最大角速度(d/dt) θ_{\max} とを比較することにより、図41のような速度マップが得られ、この図において100%以上の領域の面積を変数 $y_{x_v}[i]$ に格納する。

【0107】ステップS L 7では、塗装ガン2先端が z 軸に沿った方向へ移動する場合において、ステップS L 6と同様の計算方法で上記速度領域面積を求める。そして、求めた速度領域面積が変数 $z_{x_v}[i]$ の値より大きい場合には、該変数 $z_{x_v}[i]$ の値を上記速度領域面積に更新し、この時の x の値を $z_x[i]$ に格納し、ステップS L 5へ戻る。ステップS L 5において、変数 x が x_{\max} より大きくなると、ステップS L 8へ進む。

【0108】ステップS L 8では、変数 z を $z_{\min} \sim z_{\max}$ の範囲において所定距離 Δz の間隔で変化させながら、該変数 z によって z 軸上の座標値を指定される xy 20 平面に対して、ステップS L 9～S L 10の処理を行う。ステップS L 9では、塗装ガン2先端が x 軸に沿った方向へ移動する場合において、ステップS L 6と同様の計算方法で上記速度領域面積を求める。そして、求めた速度領域面積が変数 $x_{z_v}[i]$ の値より大きい場合には、該変数 $x_{z_v}[i]$ の値を上記速度領域面積に更新し、この時の z の値を $x_z[i]$ に格納し、ステップS L 10へ進む。

【0109】ステップS L 10では、塗装ガン2先端が y 軸に沿った方向へ移動する場合において、ステップS L 6と同様の計算方法で上記速度領域面積を求める。そして、求めた速度領域面積が変数 $y_{z_v}[i]$ の値より大きい場合には、該変数 $y_{z_v}[i]$ の値を上記速度領域面積に更新し、この時の z の値を $y_z[i]$ に格納し、ステップS L 8へ戻る。ステップS L 8において、変数 z が z_{\max} より大きくなると、ステップS L 11へ進む。

【0110】ステップS L 11では、変数 y を $y_{\min} \sim y_{\max}$ の範囲において所定距離 Δy の間隔で変化させながら、該変数 y によって y 軸上の座標値を指定される zx 40 平面に対して、ステップS L 12～S L 13の処理を行う。ステップS L 12では、塗装ガン2先端が x 軸に沿った方向へ移動する場合において、ステップS L 6と同様の計算方法で上記速度領域面積を求める。そして、求めた速度領域面積が変数 $x_{y_v}[i]$ の値より大きい場合には、該変数 $x_{y_v}[i]$ の値を上記速度領域面積に更新し、この時の y の値を $x_y[i]$ に格納し、ステップS L 13へ進む。

【0111】ステップS L 13では、塗装ガン2先端が z 軸に沿った方向へ移動する場合において、ステップS

は、

L 6と同様の計算方法で上記速度領域面積を求める。そして、求めた速度領域面積が変数 $z_{y_v}[i]$ の値より大きい場合には、該変数 $z_{y_v}[i]$ の値を上記速度領域面積に更新し、この時の y の値を $z_y[i]$ に格納し、ステップS L 11へ戻る。ステップS L 11において、変数 y が y_{\max} より大きくなると、ステップS L 14へ進む。

【0112】ステップS L 14では、ステップS L 5～S L 13で求められた速度領域面積 $y_{x_v}[i]$, $z_{x_v}[i]$, $x_{z_v}[i]$, $y_{z_v}[i]$, $z_{y_v}[i]$, $x_{y_v}[i]$ のうちから最大値を選択し、さらに同じくステップS L 5～S L 13で求められた $y_x[i]$, $z_x[i]$, $x_z[i]$, $y_z[i]$, $z_y[i]$, $x_y[i]$ のうちから上記最大値と共に求められた値(以下、速度領域指定値と称する)を選択する。その後、上記速度領域指定値で指定される xy 平面, yz 平面, zx 平面のうちのいずれかの平面(以下、作業平面と称する)における塗装範囲の中心位置を求め、ステップS L 15へ進む。これにより、ステップS L 5～S L 13で求められた速度領域の内で面積が最も大きいものを選択できる。

【0113】ステップS L 15では、ステップS L 14で選択された平面について、塗装ガン2先端が移動する作業平面と作業方向を決定し、ステップS L 16へ進む。ステップS L 16では、選択された作業平面と作業方向において、塗装ガン2先端が最も速度が出せる位置 x_c を上記の式(26)より求め、ステップS L 17へ進む。ステップS L 17では、長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ を近似させたワークの中心位置が x_c に来るように、長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ のデータを変換し、ステップS L 18へ進む。

【0114】ステップS L 18では、ワークが塗装ガン2の動作範囲からはみ出している間は、ステップS L 19の処理を繰り返す。ステップS L 19では、ステップS L 14で選択された上記作業平面上において、上記長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ の中心が上記ロボットベース座標系の原点に近づくように、該長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ を平行移動させる。この時、平行移動後の長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ によって近似される教示データ再生時のロボット1の各回転軸 $1c1 \sim 1c4$ が、それぞれの回転軸の最小回転角度および最大回転角度を越えないようにする。その後、C P U 11は上記平行移動量を求め、ステップS L 20へ進む。ステップS L 20では、図43に示す表に従って教示データを回転、平行移動させ、これを新しい教示データとして記憶し、ステップS L 21へ進む。ステップS L 21では、新しく求めたデータに基づいてロボット1を動かし、一例の処理を終了する。

【0115】次に、ロボット1の各回転軸 $1c1 \sim 1c$

4の最大回転速度に合わせて、ロボット1の性能を最も引き出せる位置へワークを移すように教示データを変換し、その変換によって得られた教示データの作業開始点および作業終了点や、ワークの移動量をディスプレイに表示する処理について図44および図45に示すPAD図を参照して説明する。

【0116】図44および図45に示す処理のうち、ステップSM1～SM20の処理は、図40～図41に示したステップSL1～SL20の処理と同じものである。その説明を省略する。ステップSM21では、教示データの変換後、図46(a)に示すように、変換後の教示データのロボットベース座標系における第1点と最終点(具体的には図20のP₀およびP₁₁を参照)をディスプレイに表示する。また、図46(b)に示すように、ワークの移動方向と距離、回転角度を表示してもよい。なお、変換後の教示データにおける作業開始点および作業終了点をディスプレイに表示することにより、ワークの位置がインデックステーブル等の形式でRAM13に記憶されている場合には、オペレータは上記作業開始点および作業終了点の座標値を入力するだけで位置

の修正を行うことができる。
【0117】次に、アーム1b先端の移動時の最大加速度を目安に教示データを変換する処理について図47および図48に示すPAD図を参照して説明する。なお、これまでの実施例の説明では、ロボット1が、そのアーム1bに塗装ガン2を装備し、塗装作業を行う場合について述べてきたが、本説明では、塗装ガン2の代わりにワーク把持用のロボットハンドを設け、所定の組立作業を行う場合について説明する。

$$(d/dt)^2 w_M = J_M \cdot (d/dt)^2 \theta_M + J_M \cdot (d/dt) \theta_M \cdot \dots \cdot (27)$$

また、各回転軸1c1～1c4のトルク τ_i は、次に示す式(28)で求められることができる。ここで、 τ_1 は回転軸1c1のトルクを、 τ_2 は回転軸1c2のトル

$$T_i = H_{ii} \cdot (d/dt)^2 \theta_i + \sum_{j \neq i} H_{ij} \cdot (d/dt)^2 \theta_j$$

$$+ \sum_j \sum_k \left(\frac{\partial H_{ij}}{\partial \theta_k} - \frac{1}{2} \frac{\partial H_{jk}}{\partial \theta_i} \right) \cdot (d/dt) \theta_j \cdot (d/dt) \theta_k + T_g$$

..... (28)

ここで、上式の第1項は回転軸iの回転によって移動するロボットアームの移動によって発生する慣性トルク、第2項は他のロボットアームの動きによって回転軸iが受ける干渉トルク、第3項はコリオリ力、遠心力などの

$$w_M = f(\theta_M) \cdot \dots \cdot (29)$$

$$(d/dt) w_M = J_M \cdot (d/dt) \theta_M$$

$$J_M^{-1} \cdot (d/dt) w_M = J_M^{-1} \cdot J_M \cdot (d/dt) \theta_M$$

$$J_M^{-1} \cdot (d/dt) w_M = I_M \cdot (d/dt) \theta_M$$

$$\therefore (d/dt) \theta_M = J_M^{-1} \cdot (d/dt) w_M$$

$$(d/dt)^2 w_M = J_M \cdot (d/dt)^2 \theta_M + J_M \cdot (d/dt) \theta_M \cdot \dots \cdot (30)$$

【0118】オペレータが上記処理の開始を指示すると、CPU11は図47に示すステップSN1へ進む。ステップSN1では、オペレータがオンラインまたはオフラインで教示を行った組み立て手順に従って教示データを作成、またはRAM13に教示データを格納し、ステップSN2へ進む。ステップSN2では、RAM13内の教示データより、点(x_{wmax} , y_{wmax})と点(x_{wmin} , y_{wmin})とを結ぶ直線を対角線とする長方形にワークを近似し、ステップSN3へ進む。ここで、 x_{wmax} は組立作業時にロボットハンドがx軸方向へ移動する最大値である。同様に y_{wmax} はy軸方向へ移動する最大値、 x_{wmin} はx軸方向へ移動する最小値、 y_{wmin} はy軸方向へ移動する最小値である。

【0119】ステップSN3では、ロボットハンドがx軸方向へ移動するときに出すことのできる最大加速度 A_{xmax} と、ロボットハンドがy軸方向へ移動するときに出すことのできる最大加速度 A_{ymax} とに0を代入し、ステップSN4へ進む。ステップSN4では、xの値を $x_{min} \sim x_{max}$ の範囲において Δx ごとに変えていき、ステップSN5～SN12の処理を行う。ステップSN5では、yの値を $y_{min} \sim y_{max}$ の範囲において Δy ごとに変えていき、ステップSN6～SN12の処理を行う。ステップSN6では、次に述べる方法でロボットハンドがx軸方向へ移動するときの加速度 A_x 、およびy軸方向へ移動するときの加速度 A_y を求め、ステップSN7へ進む。

【0120】式(25)をさらに時間で微分すると、次に示す式(27)が得られる。

クを、 τ_3 は回転軸1c3のトルクを、 τ_4 は回転軸1c4のトルクを表す。

【数3】

$$T_i = H_{ii} \cdot (d/dt)^2 \theta_i + \sum_{j \neq i} H_{ij} \cdot (d/dt)^2 \theta_j$$

非線形力、第4項は重力トルクである。

【0121】さらに、各回転軸1c1～1c4の角速度 $(d/dt) \theta$ 、角加速度 $(d/dt)^2 \theta$ は、式(29)、(30)を以下に示すように変形して求められる。

$$\begin{aligned}
 (d/dt)^2 w_M - J_M \cdot (d/dt) \theta_M &= J_M \cdot (d/dt)^2 \theta_M \\
 J_M^{-1} \{ (d/dt)^2 w_M - J_M \cdot (d/dt) \theta_M \} &= J_M^{-1} \cdot J_M \cdot (d/dt)^2 \theta_M \\
 J_M^{-1} \{ (d/dt)^2 w_M - J_M \cdot (d/dt) \theta_M \} &= I_M \cdot (d/dt)^2 \theta_M \\
 \therefore (d/dt)^2 \theta_M &= J_M^{-1} \{ (d/dt)^2 w_M - J_M \cdot (d/dt) \theta_M \}
 \end{aligned}$$

【0122】さらに、各回転軸 1c1～1c4 の角速度 $(d/dt) \theta$ および角加速度 $(d/dt)^2 \theta$ から、塗装ガン 2 先端が x 軸方向および y 軸方向へ移動するときの加速度 A を求めると、速度の場合と同様に、図 49 のような加速度マップが得られる。さらに上記加速度 A より、ロボットハンドが x 軸方向へ移動するときの加速度 A_x 、および y 軸方向へ移動するときの加速度 A_y を求める。ステップ SN7 では、ステップ SN6 で求めた加速度 A_x が最大加速度 A_{xmax} より大きいかなかを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ SN8 へ進む。ステップ SN8 では、最大加速度 A_{xmax} に加速度 A_x を代入し、ステップ SN10 へ進む。一方、ステップ SN7 の判断結果が「NO」の場合には、ステップ SN8 へ進む。ステップ SN9 では、点 w_x を点 (x, y) とし、ステップ SN10 へ進む。

【0123】ステップ SN10 では、ステップ SN6 で求めた加速度 A_y が最大加速度 A_{ymax} より大きいかなかを判断する。この判断結果が、「YES」の場合には、ステップ SN11 へ進む。ステップ SN11 では、最大加速度 A_{ymax} に加速度 A_y を代入し、ステップ SN5 へ戻る。一方、ステップ SN10 の判断結果が「NO」である場合には、ステップ SN12 へ進む。ステップ SN12 では、点 w_y を点 (x, y) とし、ステップ SN5 へ戻る。ステップ SN5 において、変数 y の値が y_{max} になると、ステップ SN4 へ戻る。ステップ SN4 において、変数 x の値が x_{max} になると、ステップ SN13 へ進む。

【0124】ステップ SN13 では、x 軸方向および y 軸方向において最大加速度が得られた点 x_c, y_c の中点を x_{wc} とし、ステップ SN14 へ進む。ステップ SN14 では、ワークを近似した長方形の中心位置が点 x_{wc} に来るようにワークを移動させ、ステップ SN15 へ進む。ステップ SN15 では、ワークがロボットハンドの動作範囲をはみ出している間、ステップ SN16 の処理を繰り返す。ステップ SN16 では、ワークを近似した長方形の中心位置が、ロボットベース座標系の原点の方向に移動するように、ワークを平行移動する。ステップ SN15 において、ワークがロボットハンドの動作範囲内に収まると、ステップ SN17 へ進む。

【0125】ステップ SN17 では、教示データをワークの中心を x_{wc} とした教示データを変換し、ステップ SN18 へ進む。ステップ SN18 では、変換後の教示データの先頭に、ワークを把持・移動する動作を指示する教示データを生成して付加し、ステップ SN19 へ進む。ステップ SN19 では、変換後の教示データの末尾に、ワークを元の位置に戻す動作を指示する教示データ

を生成して付加し、ステップ SN20 へ進む。ステップ SN20 では、作成された教示データを用いてロボットに組み立て作業を行わせ、一例の処理を終了する。

【0126】以上、この発明の実施例を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施例に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があってもこの発明に含まれる。例えば、上述した実施例では、x 軸、y 軸、z 軸からなる 3 次元空間において、z 軸方向の値を特定の値に固定した x y 平面を対象とする処理について述べたが、処理の対象を z 軸方向の値を変動とした 3 次元空間に拡大しても構わない。また、同実施例では、塗装用ロボットシステムを例にとって教示装置 3 の構成および動作を説明したが、教示装置 3 は他の用途（溶接、組立等）のマニピュレータ 1 の制御に使用することも可能である。

【0127】

【発明の効果】以上説明したように、請求項 1 または請求項 2 に記載の発明によれば、作業者は最大到達領域を実際に目で見て確認することができ、該最大到達領域内にワークおよび周辺装置を設置する際に、設置に要する工数を減らすことができる。また、作業者は最大到達領域内に正確に、かつ、該最大到達領域を有効に利用してワークおよび周辺装置を設置することができる。さらに、作業者は、ロボットの動作中に、最大到達領域に入らないように注意することができるので、教示作業時の安全性が高まる。

【0128】請求項 3 または請求項 4 に記載の発明によれば、ワークに位置に応じて教示データの修正が自動的に行われるので、作業者は教示および教示データの修正に要する工数を減らすことができ、生産ラインを止める必要がなく、生産ラインの生産効率を上げることができる。

【0129】請求項 5 に記載の発明によれば、作業者は角速度能力領域を実際に目で見て確認することができ、該角速度能力領域内にワークおよび周辺装置を設置する際に、設置に要する工数を減らすことができる。また、作業者は角速度能力領域内に正確に、かつ、該角速度能力領域を有効に利用してワークおよび周辺装置を設置することができる。さらに、ワークが角速度能力領域内に収まるように教示データが自動的に修正されるので、作業具に質の高い作業を行わせることができ、作業時間が短縮される。

【0130】請求項 6 に記載の発明によれば、作業者は角加速度能力領域を実際に目で見て確認することができ、該角加速度能力領域内にワークおよび周辺装置を設置する際に、設置に要する工数を減らすことができる。

また、作業者は、角加速度能力領域内に正確に、かつ、該角加速度能力領域を有効に利用してワークおよび周辺装置を設置することができる。さらに、ワークが角加速度能力領域内に収まるように教示データが自動的に修正されるので、作業具に質の高い作業を行わせることができ、作業時間が短縮される。また、ロボットおよび周辺装置の仕様が変更された場合であっても、それに合わせてそれらの領域を自動的に求めることができ、作業者はロボットおよび周辺装置の調整に要する工数を減らすことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の一実施例によるロボットの制御装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】同実施例によるロボットの制御装置を用いたロボットシステムの構成を示す斜視図である。

【図 3】ロボット 1 の数学モデルおよびロボットベース座標系を示す説明図である。

【図 4】塗装ガン 2 の塗装範囲およびその外縁の軌道を示す平面図である。

【図 5】制御装置 3 の制御系を示すブロック図である。

【図 6】塗装範囲を求める処理の流れを示す P A D 図である。

【図 7】各回転軸の目標値を求める処理の流れを示す P A D 図である。

【図 8】各回転軸の目標値を求める処理の流れを示す P A D 図である。

【図 9】塗装範囲を床面に描く処理の流れを示す P A D 図である。

【図 10】塗装範囲内部を塗りつぶす軌道を示す平面図である。

【図 11】塗装範囲内部を塗りつぶす軌道の教示データを求める処理の流れを示す P A D 図である。

【図 12】塗装範囲内部を塗りつぶす軌道の教示データを求める処理の流れを示す P A D 図である。

【図 13】塗装範囲内部を塗りつぶす処理の流れを示す P A D 図である。

【図 14】塗装範囲とワークの位置との位置関係を示す平面図である。

【図 15】塗装範囲とワークの位置との位置関係を示す平面図である。

【図 16】塗装範囲とワークの位置との位置関係を示す平面図である。

【図 17】ワークを移動させる処理を示す P A D 図である。

【図 18】ワークを移動させる処理を示す P A D 図である。

【図 19】ワークを移動させる処理を示す P A D 図である。

【図 20】教示データを長方形に近似する処理を示す説明図である。

【図 21】ワークが塗装範囲内に入らない場合に手元操作装置 4 の表示部に出力するメッセージを示す説明図である。

【図 22】ワークの微小部分が塗装範囲からはみ出していることを示す平面図である。

【図 23】塗装範囲からはみ出しているワークに対する教示データを補正する処理を示す P A D 図である。

【図 24】塗装範囲からはみ出しているワークに対する教示データを補正する処理を示す P A D 図である。

10 【図 25】ターンテーブル上のワークの位置と塗装ガン 2 の動作範囲との位置関係を示す平面図である。

【図 26】ターンテーブル上のワークを移動させる処理を示す P A D 図である。

【図 27】ターンテーブル上のワークを移動させる処理を示す P A D 図である。

【図 28】ターンテーブル上のワークを移動させる処理を示す P A D 図である。

【図 29】速度能力配列を求める処理を示す P A D 図である。

20 【図 30】所定の速度以上の速度で塗装ガン 2 先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン 2 先端を移動させる処理を示す平面図である。

【図 31】所定の速度以上の速度で塗装ガン 2 先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン 2 先端を移動させる処理を示す P A D 図である。

【図 32】所定の速度以上の速度で塗装ガン 2 先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン 2 先端を移動させる処理を示す P A D 図である。

30 【図 33】所定の速度以上の速度で塗装ガン 2 先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン 2 先端を移動させる処理を示す P A D 図である。

【図 34】所定の速度以上の速度で塗装ガン 2 先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン 2 先端を移動させる処理を示す P A D 図である。

【図 35】所定の速度以上の速度で塗装ガン 2 先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン 2 先端を移動させる軌道を示す P A D 図である。

40 【図 36】所定の速度以上の速度で塗装ガン 2 先端を移動させることができる領域の内側におけるワークの配置例を示す平面図である。

【図 37】所定の速度以上の速度で塗装ガン 2 先端を移動させることができる領域内を塗りつぶす軌道を示す平面図である。

【図 38】所定の速度以上の速度で塗装ガン 2 先端を移動させることができる領域内を塗りつぶす処理を示す P A D 図である。

【図 39】所定の速度以上の速度で塗装ガン 2 先端を移動させることができる領域の内側におけるワークの配置例を示す平面図である。

50 【図 40】速度能力配列を利用して教示データを変換す

る手順を示すPAD図である。

【図 4 1】速度能力配列を利用して教示データを変換する手順を示すPAD図である。

【図 4 2】塗装ガン2先端の移動速度の最大速度マップである。

【図 4 3】塗装ガン2先端の移動速度が最大値となる各条件とワークの移動規則との関係を示す表である。

【図 4 4】速度能力配列を利用して教示データを変換し、その結果を表示する処理を示すPAD図である。

【図 4 5】速度能力配列を利用して教示データを変換し、その結果を表示する処理を示すPAD図である。

【図 4 6】教示データの変換結果の表示例である。

【図 4 7】ロボットハンドが移動するときの最大加速度を求め、その結果に基づいて教示データを修正する処理を示すPAD図である。

【図 4 8】ロボットハンドが移動するときの最大加速度を求め、その結果に基づいて教示データを修正する処理を示すPAD図である。

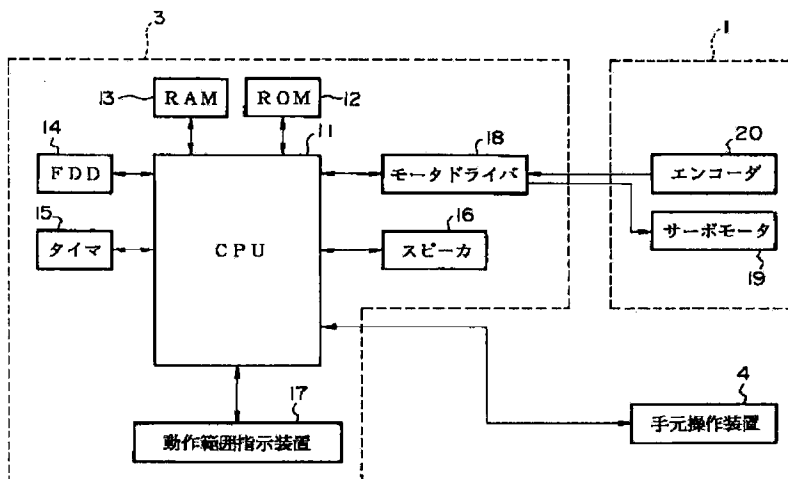
【図 4 9】ロボットハンドが移動する際の加速度マップである。

【図 5 0】従来のロボットの制御装置を用いたロボットシステムの構成を示す斜視図である。

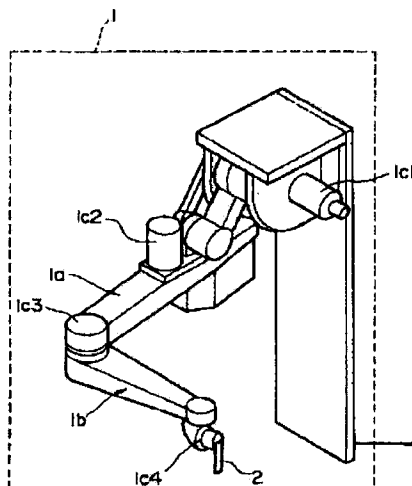
【符号の説明】

1……ロボット、 2……塗装ガン、 3、103……制御装置、 4……手元操作装置、 11……CPU、 12……ROM、 13……RAM、 14……FDD、 15……タイマ、 16……スピーカ、 17……動作範囲指示装置、 18……モータドライバ、 19……サーボモータ、 20……エンコーダ

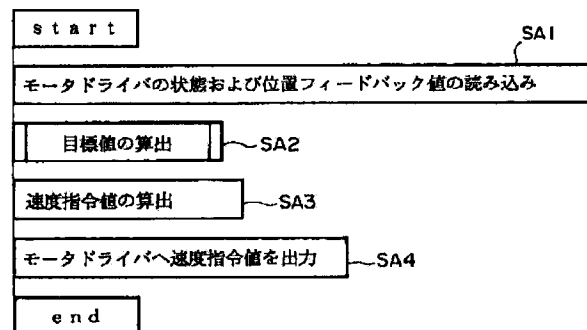
【図 1】



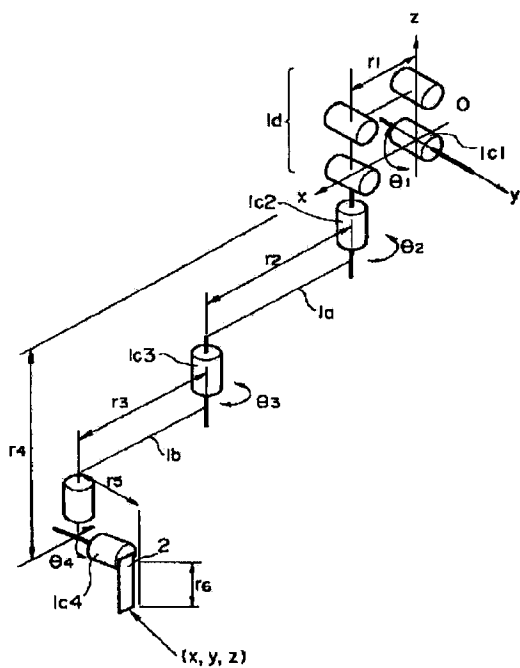
【図 2】



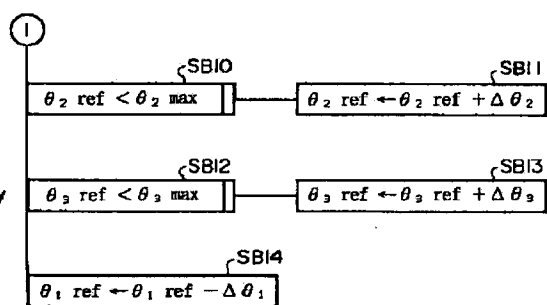
【図 6】



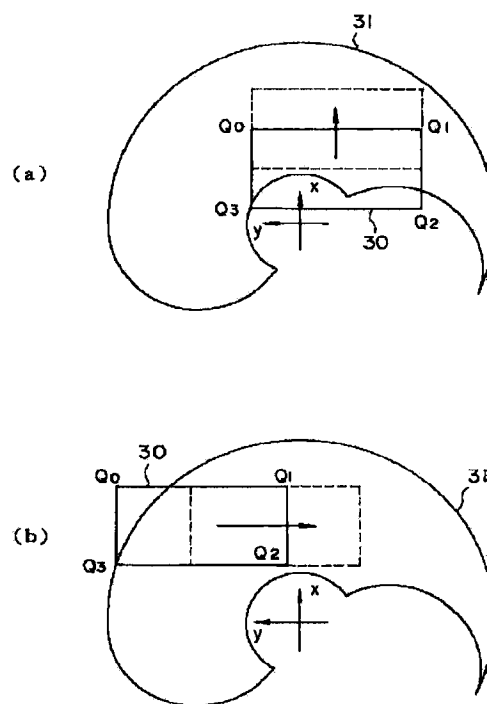
【図 3】



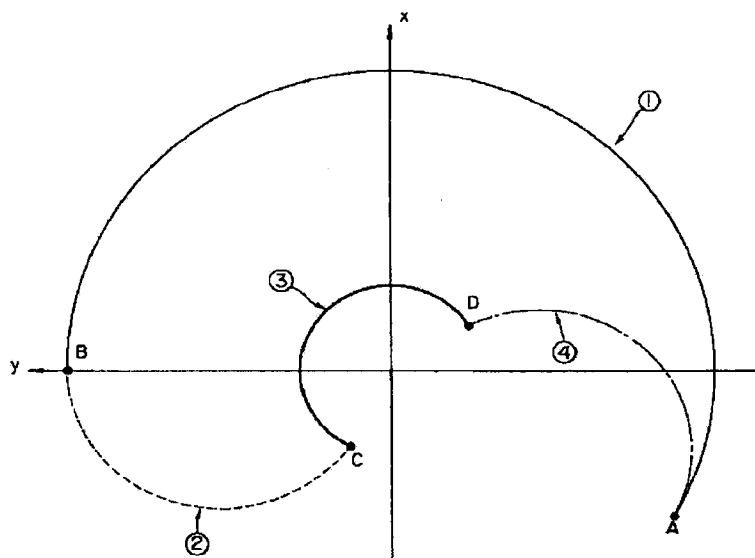
【図 8】



【図 16】



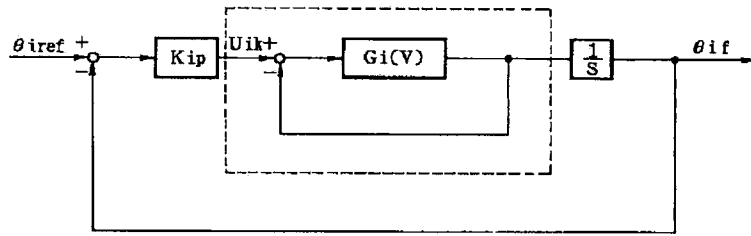
【図 4】



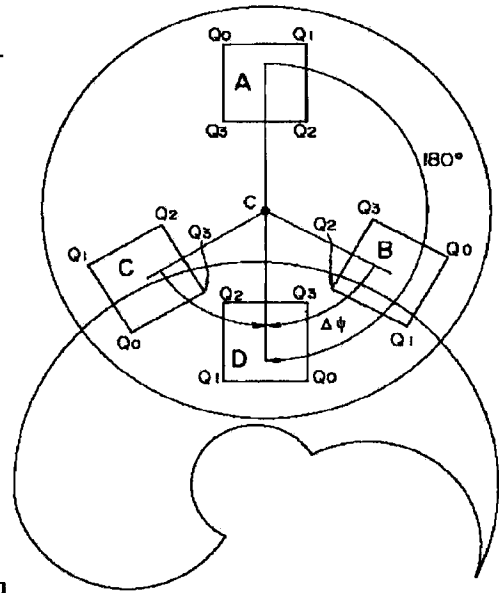
【図 21】

ワーク ガ オオスギ
マス

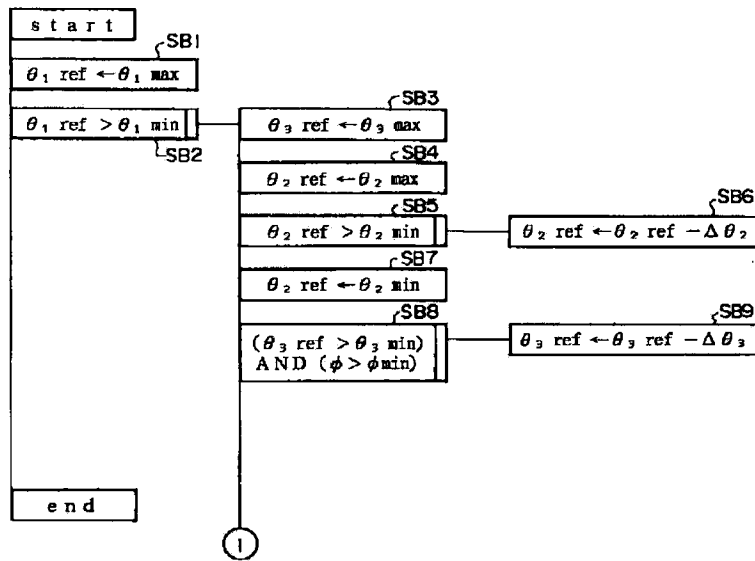
【図5】



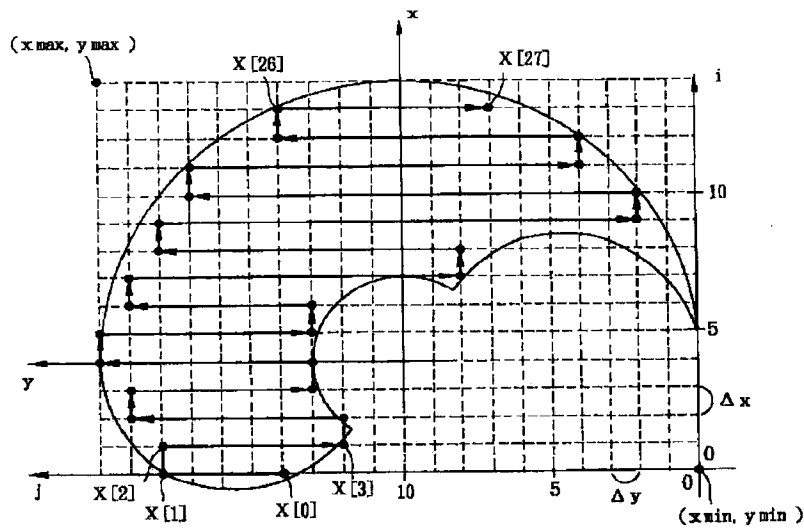
【図25】



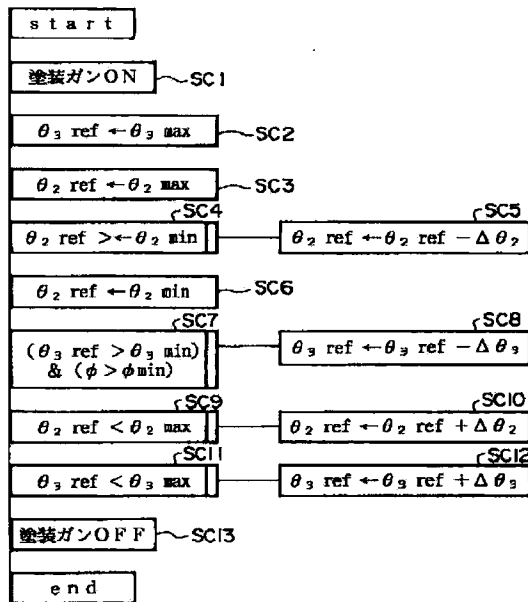
【図7】



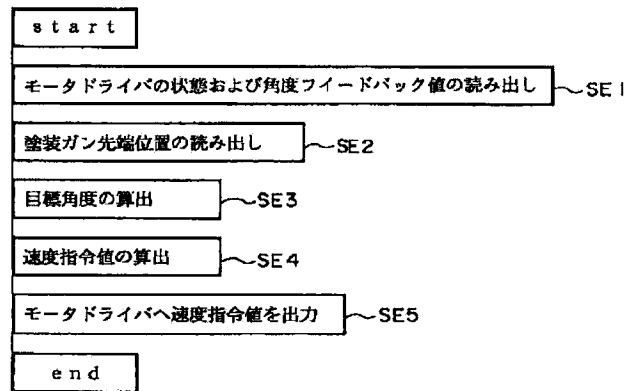
【図10】



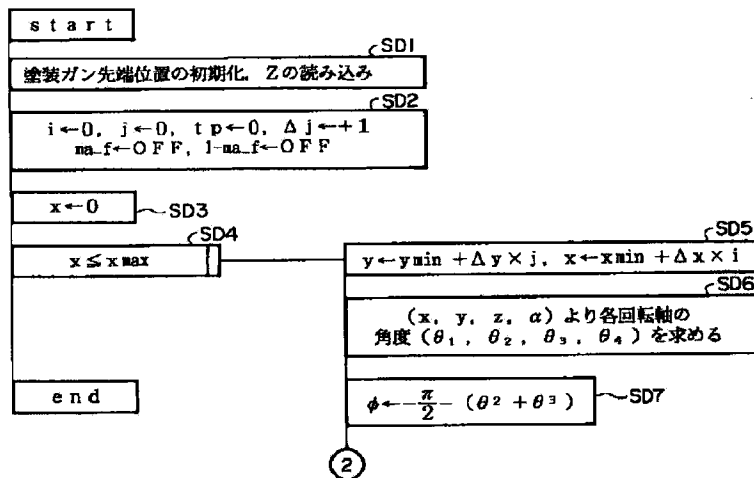
【図9】



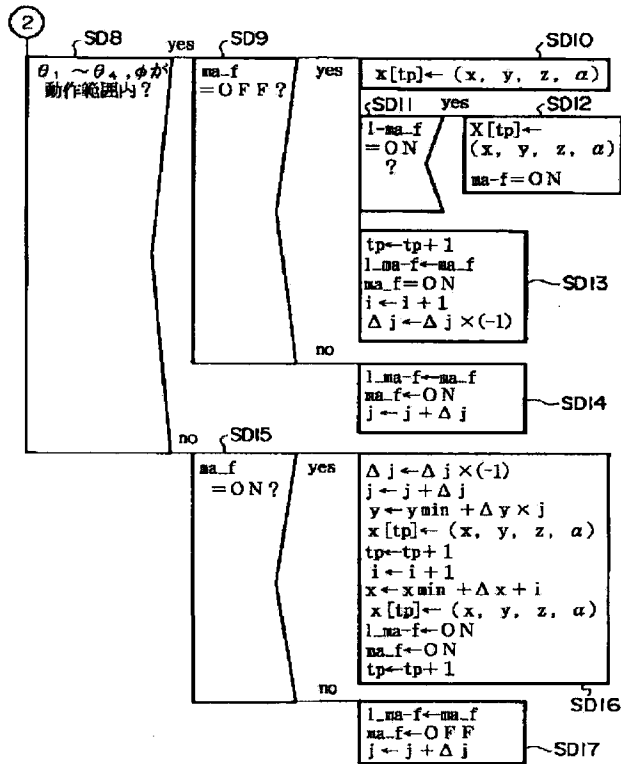
【図13】



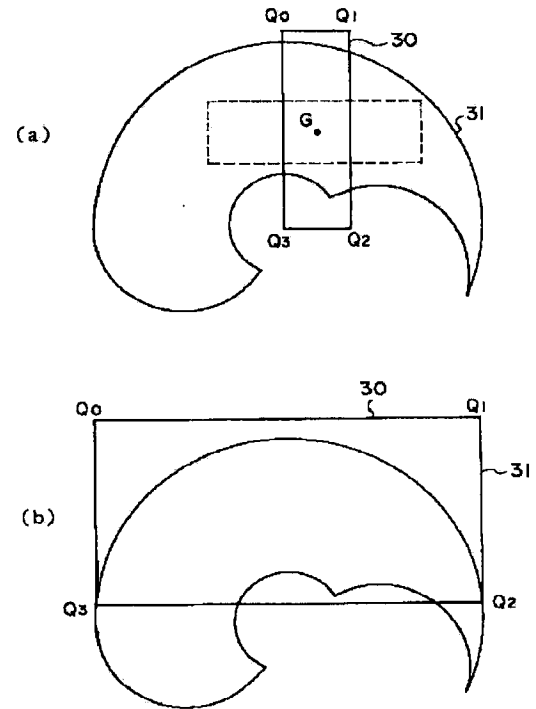
【図11】



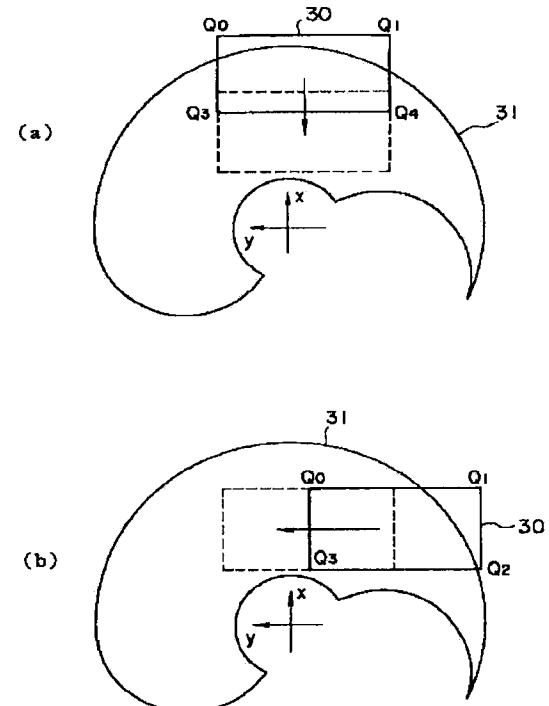
【図 12】



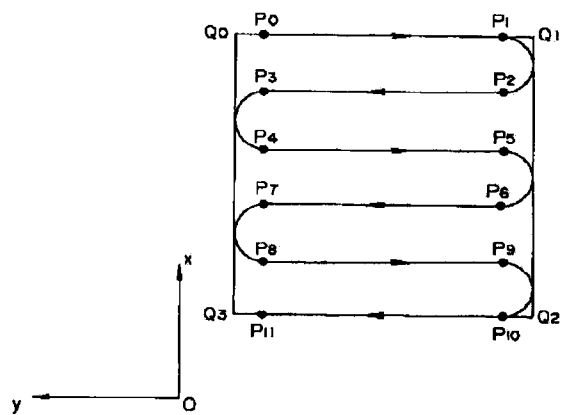
【図 14】



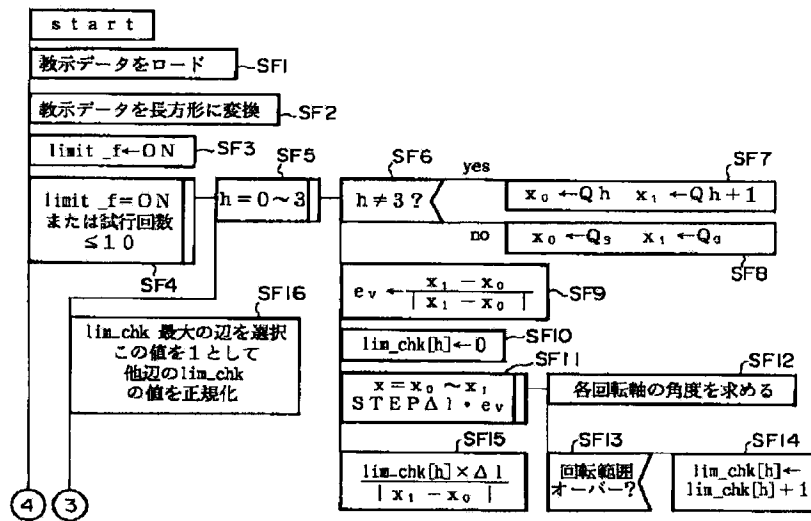
【図 15】



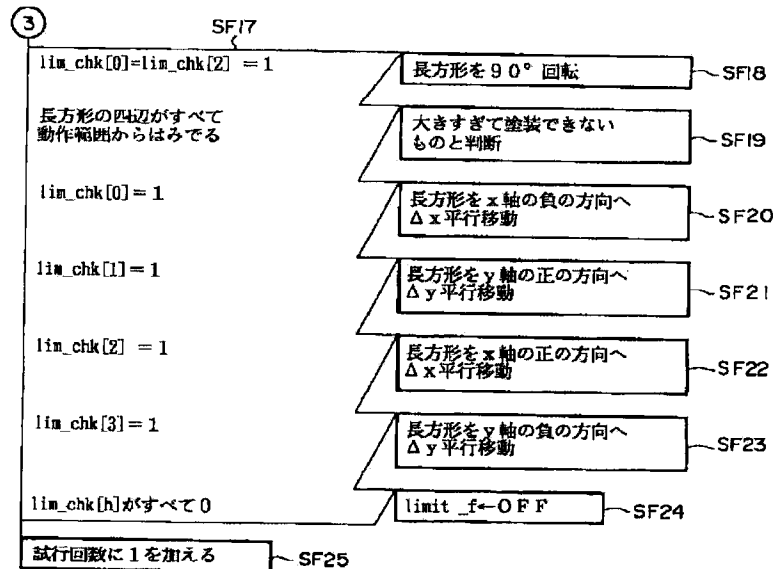
【図 20】



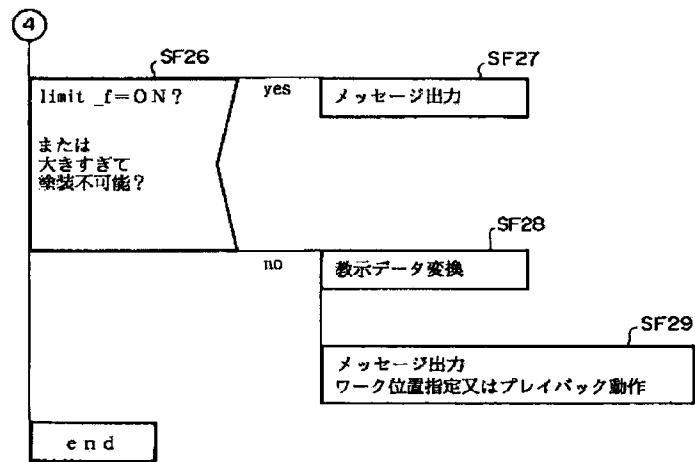
【図17】



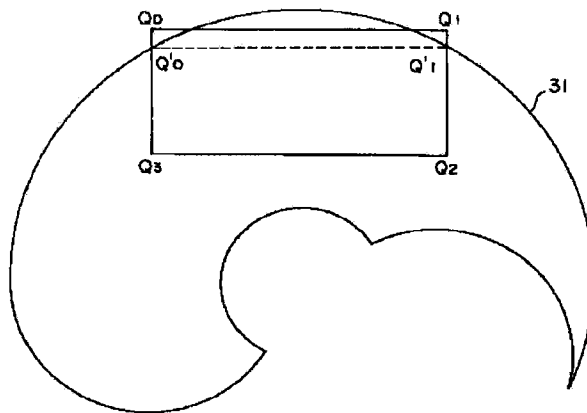
【図18】



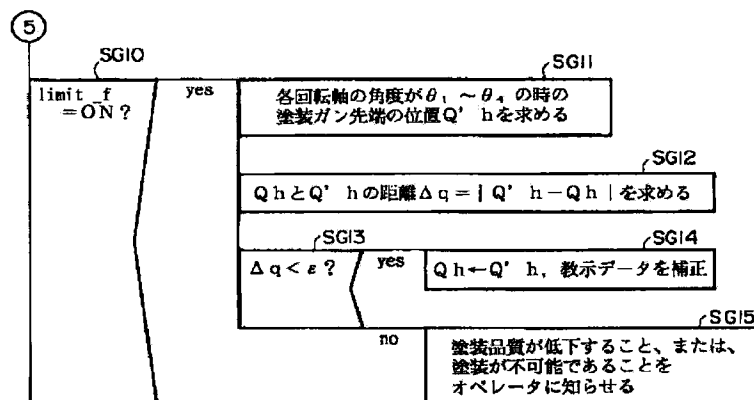
【図 19】



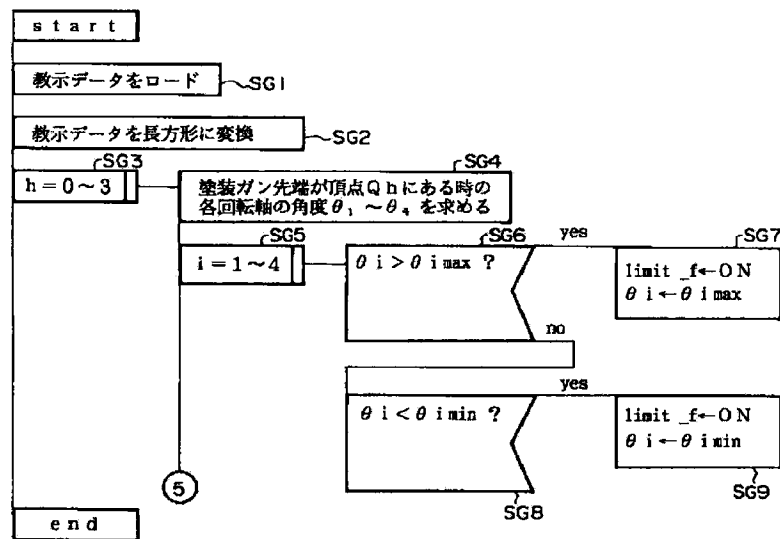
【図 22】



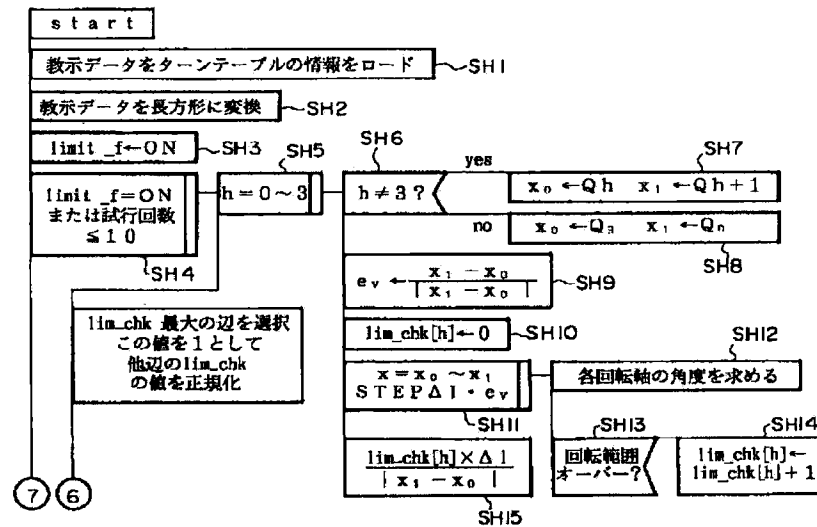
【図 24】



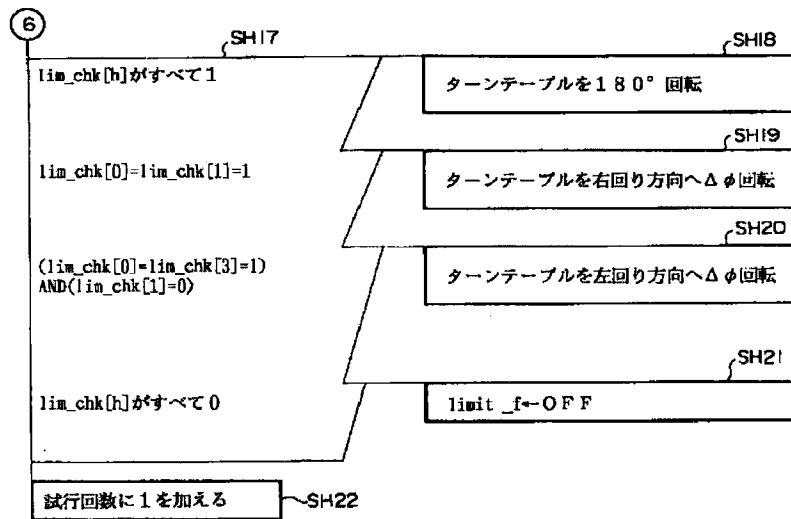
【図 23】



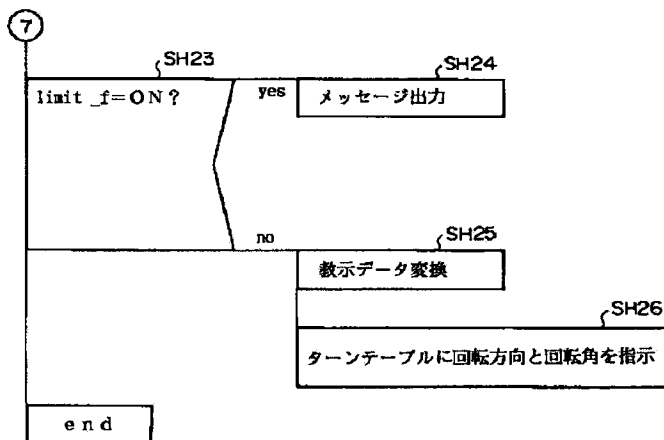
【図 26】



【図27】



【図28】



【図46】

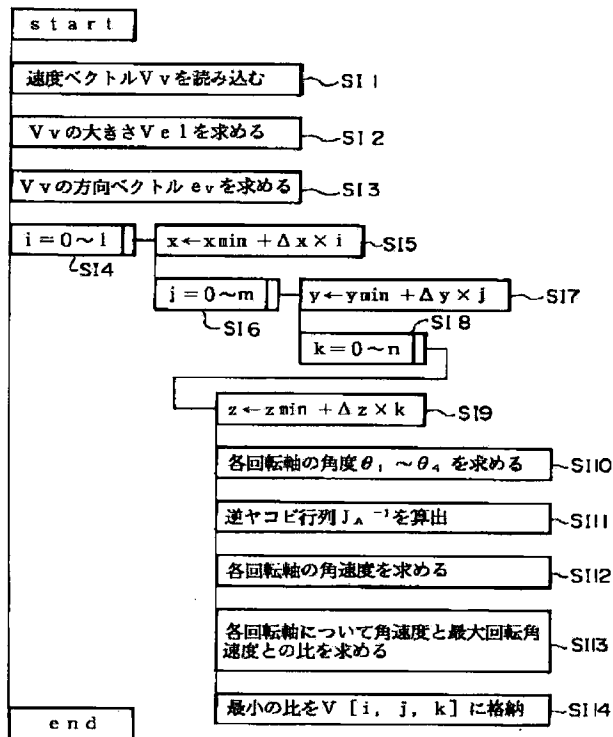
サギョウ	カイシテン	X, Y, Z=1.0 1.5 0.8
サギョウ	シュウリョウ	テン X, Y, Z=0.5 0.7 0.8

(a)

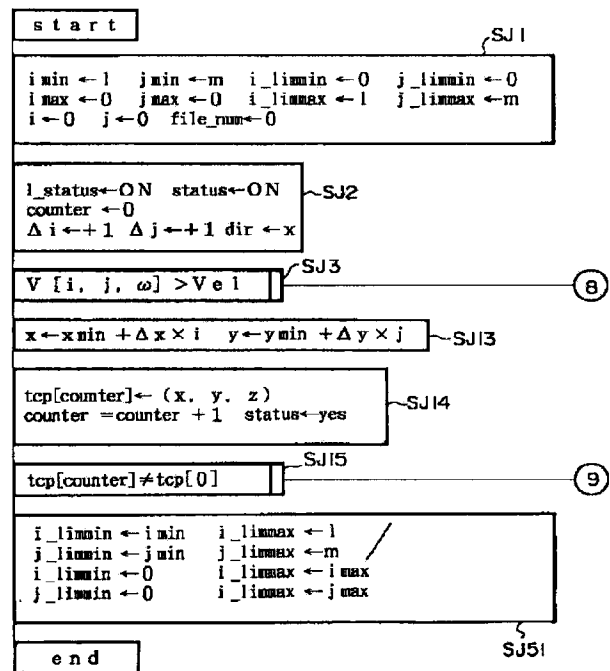
ワーク	イドウリョウ	X+0.5m Y+0.5m Z+0m
	カイシテン	Z+90° Y+90°

(b)

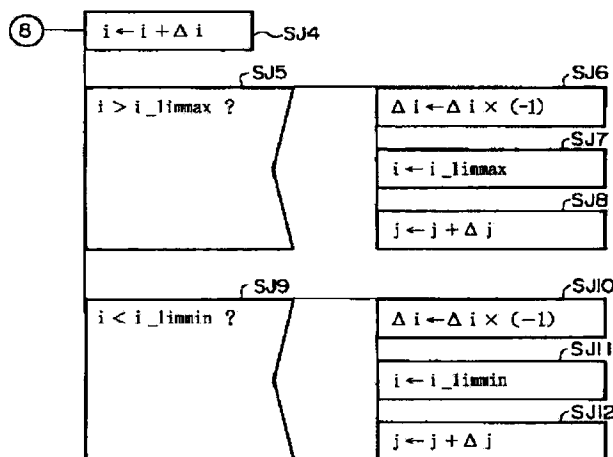
【図29】



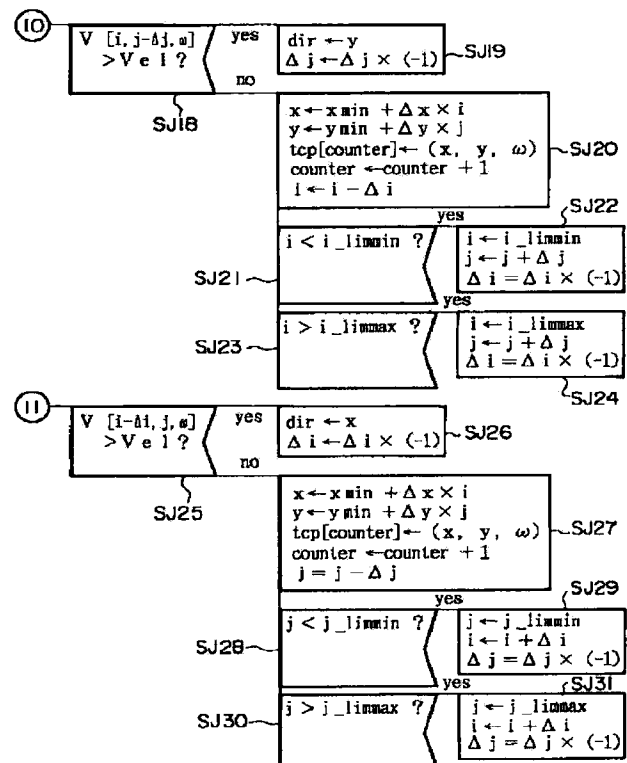
【図30】



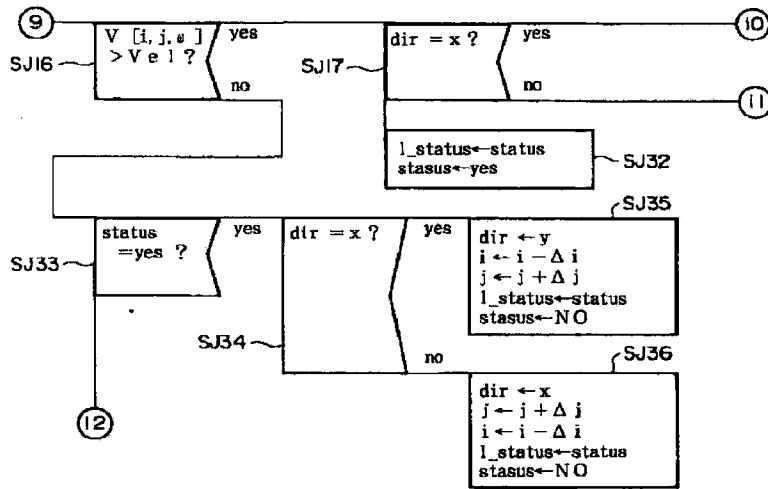
【図31】



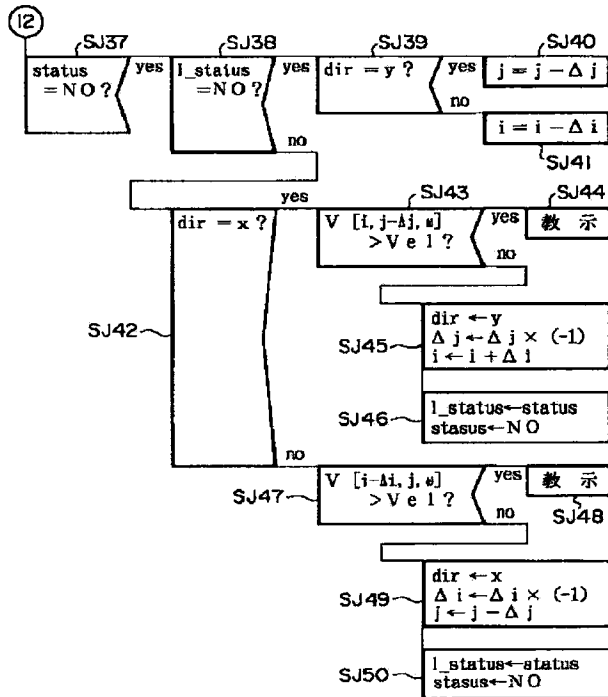
【図33】



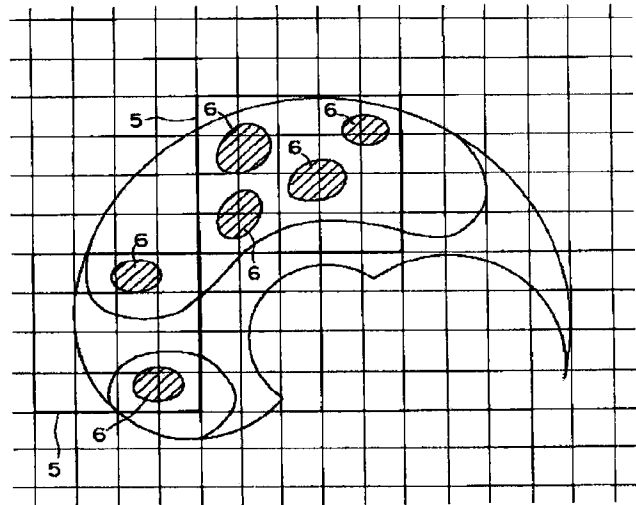
【図32】



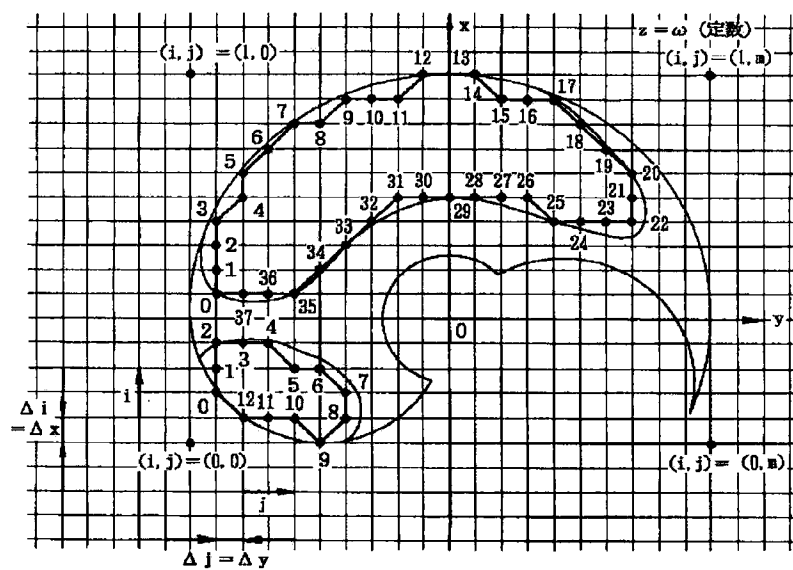
【図34】



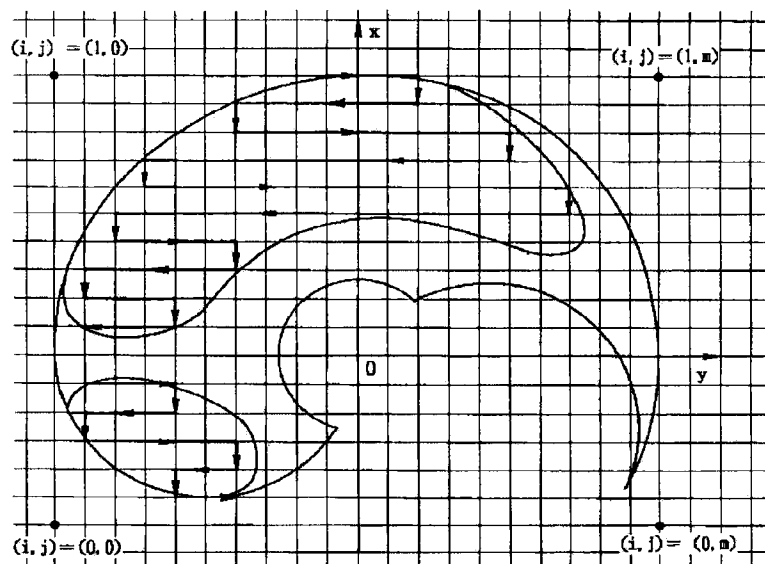
【図36】



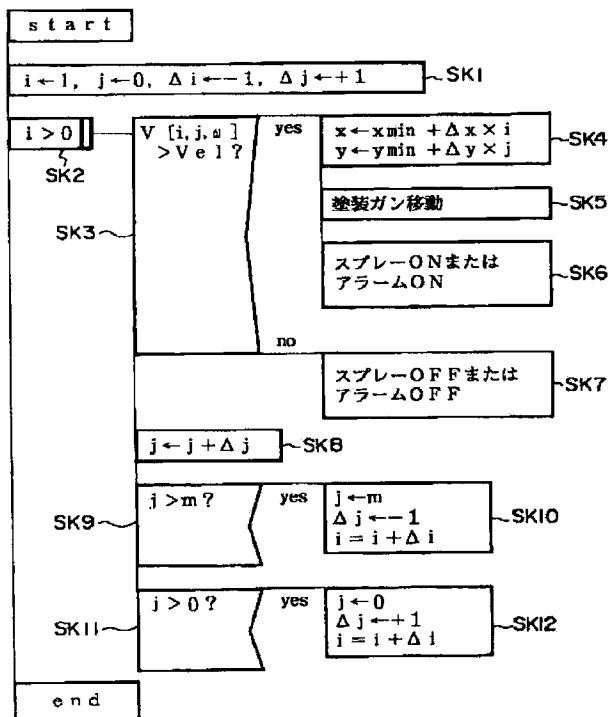
【図 35】



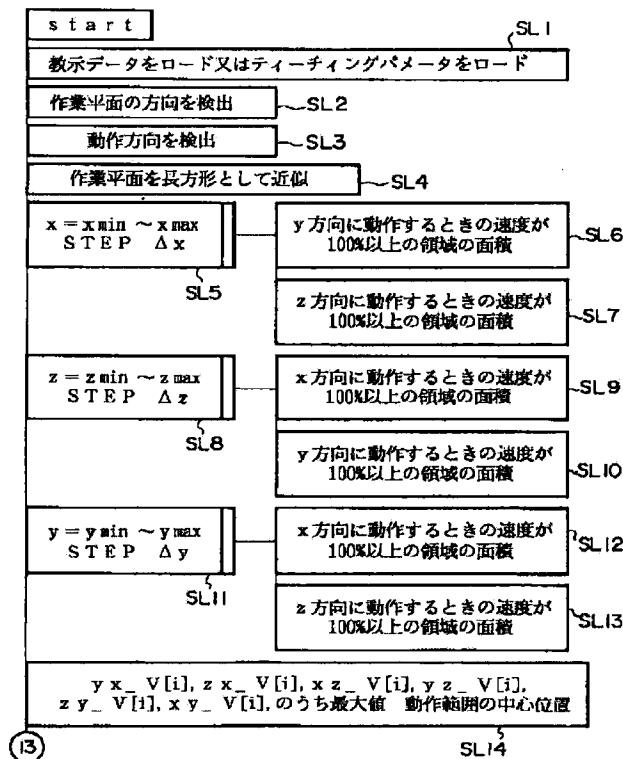
【図 37】



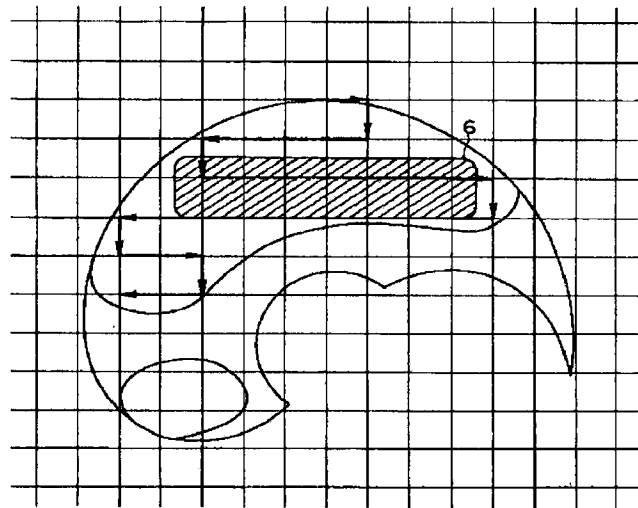
【図38】



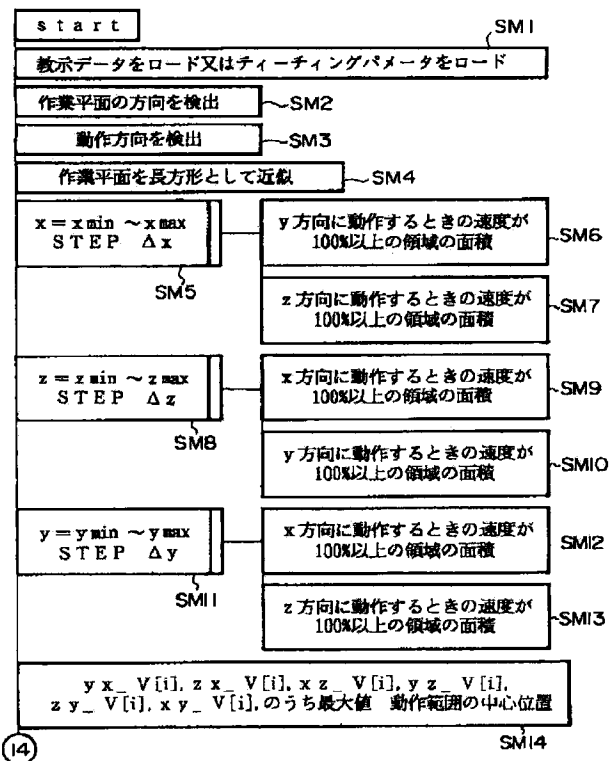
【図40】



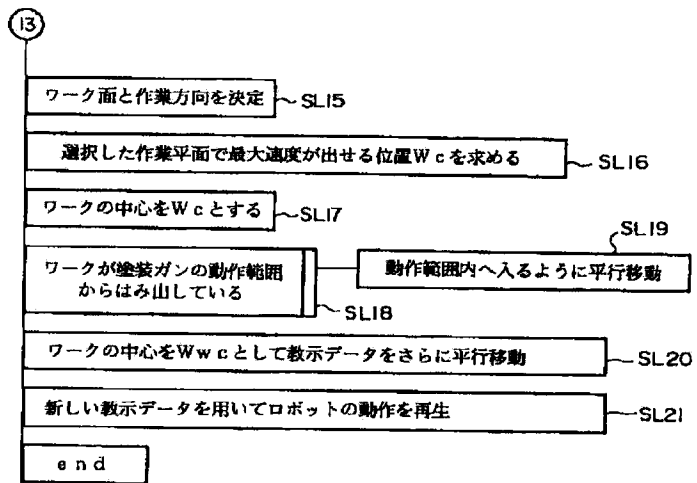
【図39】



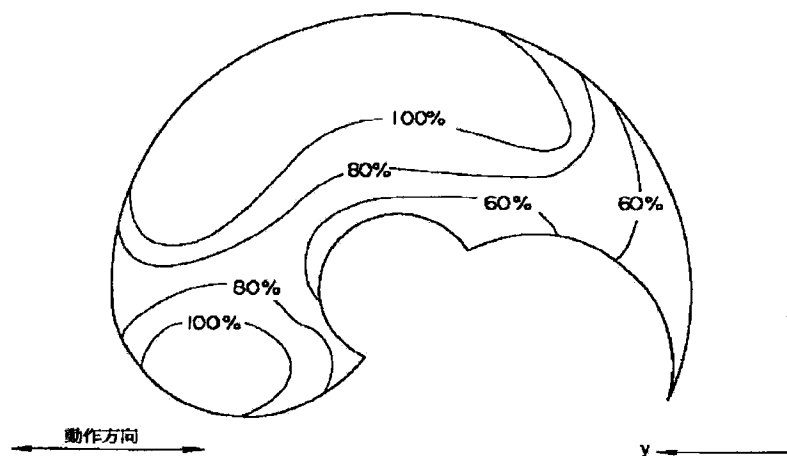
【図44】



【図41】



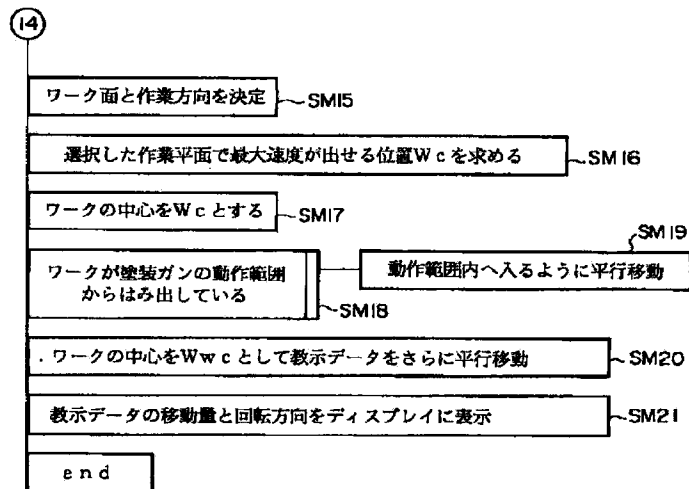
【図42】



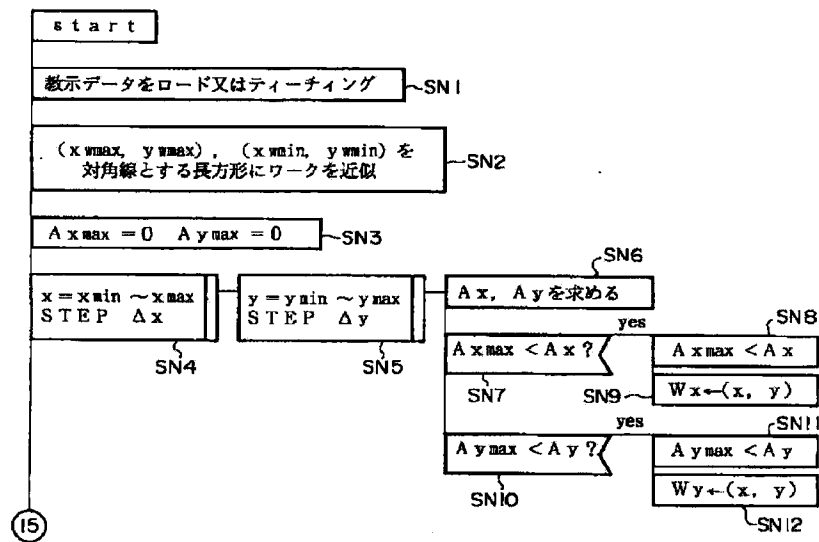
【図43】

オリジナル データ	作業 平面	y z 平面		x y 平面		z x 平面	
	動作方向	y 軸 方向	z 軸 方向	x 軸 方向	y 軸 方向	z 軸 方向	x 軸 方向
	動作速度の 最大値をとる条件						
y z 平面	動作面	動作方向					
	y 軸 方向	距離のみ 平行移動	Rot x (90°) 平行移動	Rot y (90°) Rot x (90°) 平行移動	Rot y (90°) 平行移動	Rot z (90°) Rot x (90°) 平行移動	Rot z (90°) 平行移動
x y 平面	z 軸 方向	Rot x (90°) 平行移動	平行移動	Rot y (90°) 平行移動	Rot y (90°) Rot x (90°) 平行移動	Rot z (90°) 平行移動	Rot z (90°) Rot x (90°) 平行移動
	x 軸 方向	Rot y (90°) Rot z (90°) 平行移動	Rot y (90°) 平行移動	平行移動	Rot z (90°) 平行移動	Rot x (90°) Rot z (90°) 平行移動	Rot x (90°) 平行移動
z x 平面	y 軸 方向	Rot y (90°) 平行移動	Rot y (90°) Rot z (90°) 平行移動	Rot z (90°) 平行移動	平行移動	Rot x (90°) Rot z (90°) 平行移動	Rot x (90°) Rot z (90°) 平行移動
	z 軸 方向	Rot z (90°) Rot y (90°) 平行移動	Rot z (90°) 平行移動	Rot x (90°) 平行移動	Rot x (90°) Rot y (90°) 平行移動	平行移動	Rot y (90°) 平行移動
	x 軸 方向	Rot z (90°) 平行移動	Rot z (90°) Rot y (90°) 平行移動	Rot x (90°) Rot y (90°) 平行移動	Rot x (90°) 平行移動	Rot y (90°) 平行移動	平行移動

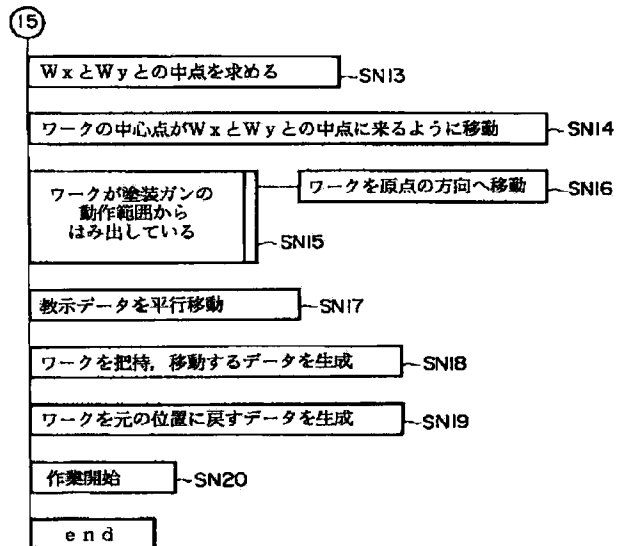
【図45】



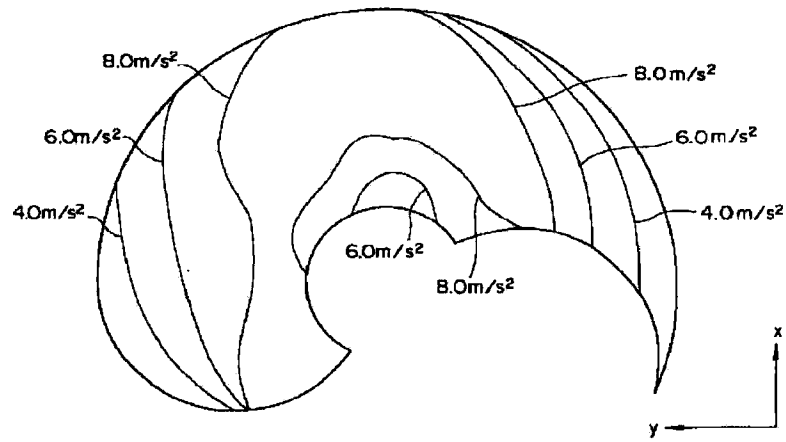
【図 47】



【図 48】



【図 49】



【図 50】

